

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechnicky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Tvorba konfigurace terminálu pro chránění a ovládání vývodů laboratorního modelu
Creation of protection relay configuration for laboratory model

2018

Bc. Michal Kotulla

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Kotulla**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: Tvorba konfigurace terminálu pro chránění a ovládání vývodů
laboratorního modelu
Creation of protection relay configuration for laboratory model

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- o Rozdělení elektrických ochrany.
- o Popis ochrany REF-630.
- o Zapojení REF-630 do fyzikálního modelu vývodu.
- o Naprogramování ochrany.
- o Měření základních charakteristik REF-630.
- o Vypracování návodu měření a vzorového protokolu.
- o Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- o Medvec, Z.: Poruchy a chránění elektrických sítí, Ostrava 2014
- o Manuál ochrany REF-630
- o Další podle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 25. 4. 2018

...*Kotulka*...

podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Radomír Goňo, Ph.D., Ing. Břetislavu Stachovi, Ph.D. a Ing. Martinu Královi za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této práce je vytvoření laboratorní úlohy v laboratoři Vysoké školy báňské -TUO s využitím ochrany REF-630. V první části je popsáno základní rozdělení ochran a samotný popis ochrany REF-630. Praktická část je zaměřena na vytvoření měřicí úlohy, která obsahuje popis konfigurace ochrany, vytvoření návodu měření a vypracování vzorového protokolu.

Klíčová slova

REF-630, PCM600, laboratorní úloha, nadproudová ochrana, podpět'ová ochrana, přepět'ová ochrana, konfigurace, návod měření, protokol

Abstract

Goal of this thesis work is creation of laboratory task in VŠB-TUO's laboratory using feeder protection and control REF-630. Basic division of protection relay and REF-630's description is mentioned in first part of the thesis work. Practical part is focused on creation of laboratory task, which contains protection relay's configuration, instructions for lab metering and made template protocol.

Key words

REF-630, PCM600, laboratory task, overcurrent protection, undervoltage protection, overvoltage protection, configuration, instructions for laboratory task, protocol

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol/Zkratka	Jednotky	Název
G_T	A	Prahová hodnota
G_S	A	Nastavená hodnota
I	A	Proud
i_{11}	A	Primární proud
i_{21}	A	Sekundární proud
I_s	A	Startovací hodnota stupně
N	-	Počet závitů
R	Ω	Odpor
t	s	Čas
t_{zm}	s	Změřený čas vypnutí
t_{sp}	s	Vypočtený čas vypnutí
TMS	-	Časový násobitel
U	V	Napětí
U_{prim}	V	Primární napětí
U_{sek}	V	Sekundární napětí
Z	Ω	Impedance
HW		Hardware
IED		Inteligentní elektronické zařízení
LED		Light emitting diod (dioda vyzařující světlo)
vn		Vysoké napětí
vvn		Velmi vysoké napětí
zvn		Zvlášť vysoké napětí

Seznam použitých názvů souvisejících s ochranou REF-630

Název	Význam
CMMXU	Třífázová proudová měřicí funkce
DAXCBR	Funkce vypínače
FXDSIGN	Fixní signály
GOOSE	Horizontální komunikace
GNRLCSWI	Ovládání přepínače
HMI	Člověk - stroj rozhraní
INVERTER	Funkční blok měniče
LHMI	Lokální rozhraní člověk - stroj
OR	Logická funkce
PHPTUV	Podpět'ová ochrana
PHPTOV	Přepět'ová ochrana
PHIPTOC	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana - okamžitý stupeň
PHHPTOC	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana - vysoký stupeň
PCM	Program pro úpravu konfigurace ochrany REF-630
RTD	O odporový teplotní detektor
SMAI_20_1	Matice signálu pro analogové vstupy proudu
SMAI_20_2	Matice signálu pro analogové vstupy napětí
TRPPTRC	Vypínací logika
VPHMMXU	Třífázová napět'ová měřicí funkce

Obsah

1	Úvod	1
2	Rozdělení elektrických ochran	2
2.2	Poruchové stavy	3
2.3	Požadavky kladené na ochrany	3
2.4	Typy ochran.....	4
2.5	Nadproudová ochrana	5
2.6	Napětové ochrany	9
2.7	Distanční ochrana	11
2.8	Chránění elektrických strojů	13
3	Popis ochrany REF-630	16
3.1	Aplikace	16
3.2	Hardwarové vybavení ochrany.....	17
3.3	Lokální rozhraní člověk-stroj (LHMI)	18
3.4	Předkonfigurované verze IED	20
3.5	Ochranné funkce	20
3.6	Ovládání	21
3.7	Určení místa poruchy	22
3.8	Měřicí funkce	22
3.9	Poruchový zapisovač.....	22
3.10	Monitorování vypínače	23
3.11	Funkce kontroly poruchy pojistek.....	23
3.12	Funkce kontroly proudového obvodu.....	23
3.13	Vstupy a výstupy	23
4	Zapojení REF-630 do fyzikálního modelu vývodu	24
5	Naprogramování ochrany.....	27
5.1	Matice signálu pro analogové vstupy proudu.....	27
5.2	Matice signálu pro analogové vstupy napětí	28
5.3	Třífázová proudová měřicí funkce CMMXU.....	28
5.4	Třífázová napětová měřicí funkce VPHMMXU	28
5.5	Podpětová ochrana PHPTUV	29

5.6	Přepět'ová ochrana PHPTOV	29
5.7	Proudově nezávislá ochrana PHIPTOC	30
5.8	Proudově závislá ochrana PHHPTOC.....	30
5.9	Logická funkce OR	30
5.10	Vypínací logika TRPPTRC	31
5.11	Funkční blok měniče INVERTER	31
5.12	Konfigurace pro schéma na displeji	31
6	Měření základních charakteristik ochrany REF-630.....	33
7	Vypracování návodu měření a vzorového protokolu	35
7.1	Návod měření	35
7.1.1	Nastavení bloku podpět'ové ochrany	36
7.1.2	Nastavení bloku přepět'ové ochrany	37
7.1.3	Nastavení bloku proudově nezávislé ochrany	38
7.1.4	Nastavení bloku proudově závislé ochrany	39
7.1.5	Výpočet proudově závislé charakteristiky podle IEC 60255-151	40
7.1.6	Měření úlohy	42
7.2	Vzorový protokol	44
7.2.1	Zadání.....	44
7.2.2	Teoretický úvod.....	44
7.2.3	Schéma	45
7.2.4	Postup měření	47
7.2.5	Tabulky.....	48
7.2.6	Výpočet proudově závislé charakteristiky.....	50
7.2.7	Grafické vyhodnocení	51
7.2.8	Seznam použitých přístrojů	51
7.2.9	Kontrolní otázky	51
7.2.10	Závěr.....	52
8	Závěr	53
	Seznam použité literatury	54
	Seznam příloh.....	55

Seznam ilustrací

Obr. 1 Vzájemná spolupráce ochrany s chráněným objektem	2
Obr. 2 Schéma nadproudové nezávislé nesměrové ochrany [4].....	5
Obr. 3 Charakteristika nezávislé nadproudové ochrany [3]	6
Obr. 4 Charakteristika závislé nadproudové ochrany.....	7
Obr. 5 Charakteristika polozávislé nadproudové charakteristiky [3]	8
Obr. 6 Charakteristika mžikové nadproudové ochrany [3]	8
Obr. 7 Funkční diagram napěťové ochrany [6]	10
Obr. 8 Vypínací charakteristika distanční ochrany [4].....	11
Obr. 9 Chránění vedení Z_{L1} distanční ochranou, a) zóny chránění, b) stupňová vypínací charakteristika [4].....	12
Obr. 10 Schéma vyrovnání fázového natočení proudů [4].....	14
Obr. 11 Princip rozdílové ochrany jednofázového transformátoru [4].....	14
Obr. 12 IED REF630 [5]	16
Obr. 13 LHMI [6]	18
Obr. 14 Rozložení displeje [6]	19
Obr. 15 Modul napájení.....	25
Obr. 16 Proudové a napěťové vstupy	25
Obr. 17 Výměnný modul	26
Obr. 18 Schéma zapojení ochrany REF-630	26
Obr. 19 Funkční blok SMAI_20_1	27
Obr. 20 Funkční blok SMAI_20_2.....	28
Obr. 21 Funkční blok CMMXU	28
Obr. 22 Funkční blok VPHMMXU.....	29
Obr. 23 Zapojení funkčního bloku PHPTUV	29
Obr. 24 Zapojení funkčního bloku PHPTOV	29
Obr. 25 Zapojení funkčního bloku PHIPTOC.....	30
Obr. 26 Zapojení funkčního bloku PHHPTOC	30
Obr. 27 Zapojení funkčních bloků OR, TRPPTRC, INVERTER a binárního výstupu	31
Obr. 28 Schéma systému dvou přípojníc.....	32
Obr. 29 Zapojení funkčních bloků konfigurace pro displej IED	32
Obr. 30 Grafické znázornění základních charakteristik	34

Obr. 31 Schéma zapojení měřicí úlohy	35
Obr. 32 Výřez základních hodnot z bloku AIM_2	36
Obr. 33 Parametry podpět'ové ochrany	37
Obr. 34 Parametry bloku přepět'ové ochrany	38
Obr. 35 Parametry bloku nadproudové ochrany PHIPTOC	39
Obr. 36 Parametry bloku nadproudové ochrany PHHPTOC	40
Obr. 37 Proudově závislá charakteristika [7]	41
Obr. 38 Pomocný obrázek schéma zapojení.....	42
Obr. 39 Schéma zapojení laboratorní úlohy	45
Obr. 40 Měřicí panel laboratorní úlohy	46
Obr. 41 Grafické porovnání proudově závislé charakteristiky	51

Seznam tabulek

Tab. 1 Hodnoty konstanty a indexu pro jednotlivé charakteristiky [7]	7
Tab. 2 Seznam ochran pro dané poruchy [3].....	15
Tab. 3 Obsah IED.....	17
Tab. 4 Předkonfigurované verze IED REF630 [5]	20
Tab. 5 Naměřené hodnoty nadproudové závislé ochrany.....	33
Tab. 6 Konstanty pro časově závislé charaktretistiky	41
Tab. 7 Ověření času vypnutí nadproudové nezávislé ochrany	48
Tab. 8 Hodnoty nadproudové závislé ochrany	48
Tab. 9 Ověření času vypnutí přepět'ové ochrany	49
Tab. 10 Ověření času vypnutí podpět'ové ochrany.....	49
Tab. 11 Konstanty základních funkčních křivek	50
Tab. 12 Vypočtené hodnoty proudově závislé charakteristiky.....	50

1 Úvod

Tato práce je zaměřena na vytvoření měřicí úlohy pro studenty třetího ročníku bakalářského studia do předmětu Elektrárny. Úloha se navrhovala v laboratoři Vysoké školy Báňské - TUO, kde se nacházejí laboratorní stoly a v jednom z nich jsou nainstalované ochrany Relion REF-630 a RET-630. Ty byly dodány od firmy ABB s.r.o., ale ještě pro ně nebyly vytvořeny měřicí úlohy, tudíž bylo zapotřebí se s nimi seznámit a nastudovat jak jsou zapojené v laboratorním stole. Samotný stůl obsahuje výměnné moduly, například spínačové pole, spínač přípojníc a modul poruch.

V první část práce jsou uvedeny základní pojmy a poruchy, které se vyskytují v elektrizační soustavě. Dále je popsáno základní rozdělení elektrických ochrany a některé z nich jsou použity v měřicí úloze. V úloze je se měří s ochranou REF-630, a proto v další části jsou popsány možnosti využití, hardwarové vybavení, přednastavené konfigurace a mnoho jiných vlastností.

Praktická část nastiňuje tvorbu měřicí úlohy. Prvně bylo nutné zjistit, jak je ochrana a daný výměnný modul zapojen, aby se podle toho mohla zhotovit úloha. Jelikož se ochrana REF-630 a ani RET-630 nepoužívala, musela se konfigurace ochrany (ochranné bloky) nově naprogramovat, podle požadavků úlohy. Po importování konfigurace do ochrany se proměřily funkční křivky nadproudové závislé ochrany a graficky se vykreslily. Hlavní náplní práce se zabývá kapitola, která obsahuje návod k měření, ten poskytuje informace o postupu měření a nastavování parametrů ochrany. V neposlední řadě je v kapitole vypracován vzorový protokol měřené úlohy, který bude vyučujícímu sloužit při hodnocení protokolů studentů.

2 Rozdělení elektrických ochran

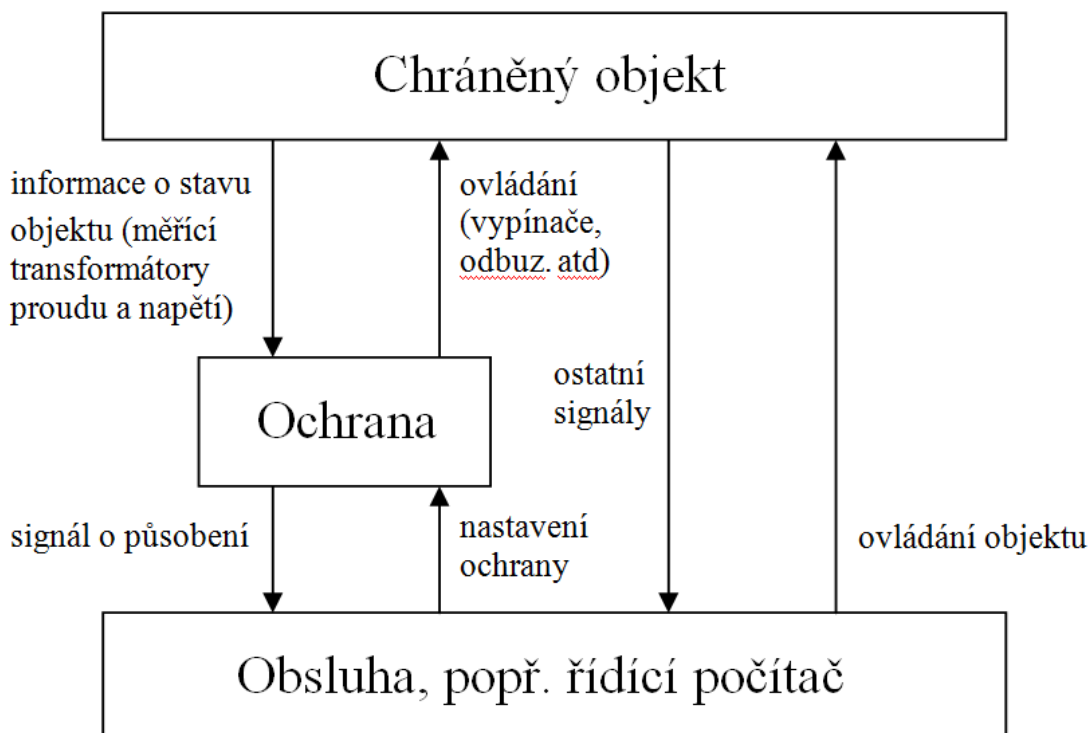
2.1 Základní pojmy

Ochrana je zařízení, které monitoruje chod určité části energetického systému, například transformátoru, generátoru, venkovního vedení apod. Pomocí přístrojových transformátorů proudu a napětí, nebo také čidel získává ochrana informace o jednotlivých veličinách chráněného objektu. Na obr. 1 je nakresleno připojení ochrany k danému chráněnému objektu a také je zde naznačena jejich vzájemná spolupráce. Informace o měřených hodnotách proudu a napětí je zpracována ochranou. Ta musí rozpoznat, zda se chráněný objekt nachází v mezích normálního stavu nebo jedná-li se o poruchový stav. [1]

Rozlišujeme tři základní stavy:

- 1) **Normální stav** - měřené veličiny nepřekračují nastavené hodnoty, ochrana nereaguje
- 2) **Mimořádný stav** - měřené veličiny ve většině případů překračují nastavené hodnoty, ochrana nereaguje, pouze signalizuje informaci o překročení
- 3) **Poruchový stav** - měřené hodnoty překračují nastavené hodnoty, ochrana odpojí chráněné zařízení

V případě kdy nastane poruchový stav uvnitř chráněného objektu, ochrana zamezí havárii chráněného zařízení vypnutím, odbuzením apod. Ochrana také vyšle signál o působení pro obsluhu. Obsluha má možnost upravovat nastavení ochrany, například měnit její citlivost nebo délku požadovaného zpoždění. [1]



Obr. 1 Vzájemná spolupráce ochrany s chráněným objektem

2.2 Poruchové stavy

V elektrizační soustavě vznikají poruchové stavy, které ohrožují provoz jednotlivých prvků popřípadě i celé soustavy. [2]

Poruchové stavy rozdělujeme na: [2]

- a) **Zkrat** - nejčastější následek je tepelné a mechanické poškození prvků
- b) **Přetížení** - dochází při něm k přehřívání izolace a snížení mechanické pevnosti vodičů, rozsah poškození závisí na teplotě přehřátí
- c) **Přepětí** - jeho vlivem se snižuje elektrická pevnost izolace a zvyšuje se riziko vzniku zkratu
- d) **Podpětí** - může mít za následek proudové přetížení
- e) **Nesouměrnost proudu a napětí** - omezuje kvalitu dodávky elektrické energie a nejvíce ohrožuje elektrické točivé stroje, u kterých může zpětná složka proudu vyvolat přehřátí rotorového vinutí
- f) **Zemní spojení** - dochází ke zvýšení napětí, vyskytuje se pouze v izolovaných sítích, kde uzemnění není
- g) **Asynchronní chod** - dochází k němu při ztrátě synchronismu generátorů, je velmi nepříznivý pro synchronní stroje, a také přetěžuje vedení a transformátory
- h) **Změna frekvence** - snížení nebo zvýšení frekvence je zejména nebezpečné v propojených elektrizačních soustavách

2.3 Požadavky kladené na ochrany

Poruchy vznikající na jednotlivých prvcích elektrizační soustavy jsou ve většině případů nahodilé. Ochrany mají za úkol tyto poruchy co nejrychleji odstranit. Proto musí rozlišit o jaký poruchový stav jde např. zemní spojení, zkrat, přetížení nebo o normální přípustný stav. Pokud se jedná o poruchu uvnitř chráněného objektu musí ochrana zajistit její eliminaci např. vypnutí. [2]

Požadavky na systém chránění jsou následující: [2]

- a) **Selektivita** - značí, že ochrana musí vypnout ten daný prvek soustavy na němž vznikla porucha, zde mluvíme o tzv. ochraně základní. Pokud selže, nebo při poruše vypínače, musí vypnout ochrana záložní, která je zpravidla časově zpožděná
- b) **Rychlost** - je důležitá hlavně u vypínání zkratů, aby došlo k omezení nepříznivých tepelných a silových účinků zkratových proudů na energetická zařízení. Zato, při proudovém přetížení vyvolaném rozběhem asynchronního motoru, je rychlé reakce ochrany nežádoucí
- c) **Citlivost a přesnost** - ochrana musí zajistit přesné a spolehlivé rozlišení toho, zdali se porucha nachází uvnitř chráněného objektu nebo mimo něj
- d) **Spolehlivost** - musí být vysoká, jelikož působení ochrany nemusí být časté, s tím také souvisí odolnost ochrany vůči vibracím, agresivním prostředím, vnějším elektromagnetickým rušivým polím, přetížením při nadproudech a velkým změnám tepla

2.4 Typy ochran

Ochrany dělíme podle: [3]

1) chráněného objektu

- generátoru
- motoru
- transformátoru
- přípojnic
- vedení
- speciální

2) druhu poruchy

- zkratové
- proti přetížení
- podpět'ové
- přepět'ové
- při zemním spojení
- při zpětném toku výkonu
- při ztrátě buzení
- při nesouměrnosti
- podfrekvenční
- nadfrekvenční

3) doby působení:

- mžikové
- časově závislé
- časově nezávislé

4) konstrukce

- elektromechanické
- statické
- digitální

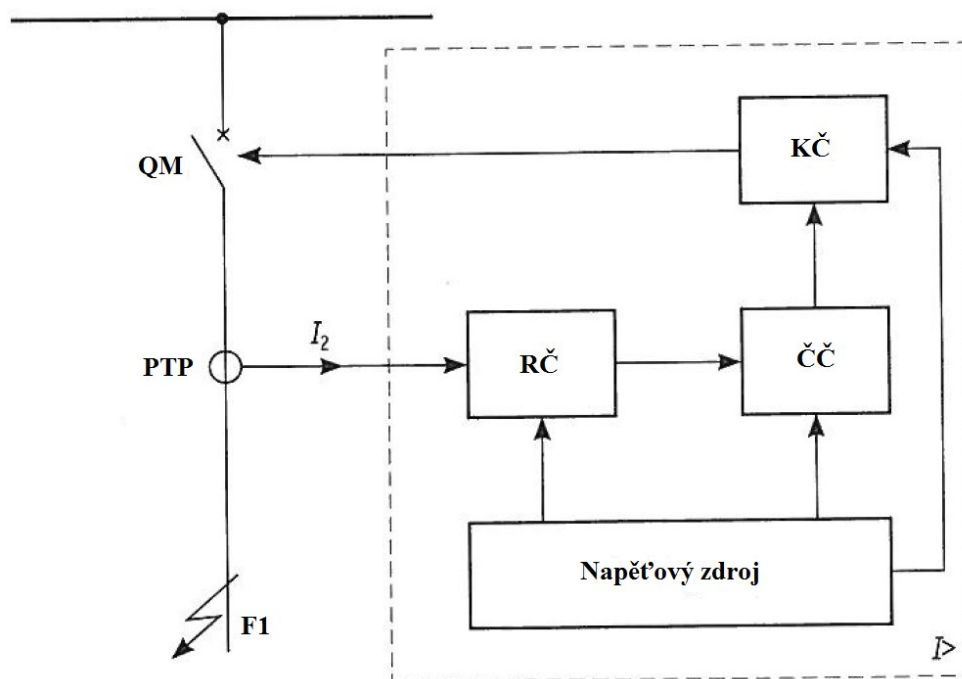
5) funkčního principu a měřené veličiny

- proudové
- napěťové
- distanční rozdílové
- srovnávací
- wattové
- jalové
- frekvenční
- při nesouměrnosti

2.5 Nadproudová ochrana

Nadproudová ochrana reaguje v momentě, kdy dojde k překročení nastavené sekundární hodnoty rozběhového proudu. Vzhledem k tomu má za následek překročení rozběhového proudu v chráněném objektu. Schéma nadproudové nezávislé nesměrové ochrany je názorně ukázáno na obr. 2. [4]

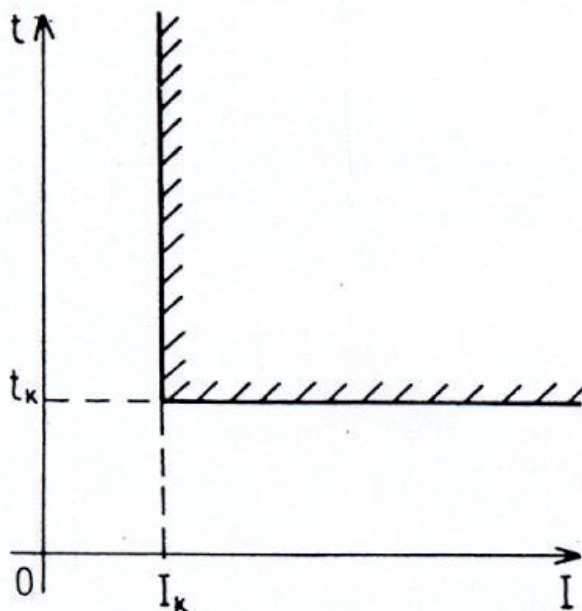
Ochrana se skládá z proudového rozběhového členu RČ, časového členu ČČ a koncového členu KČ. Rozběhové členy jsou uloženy v jednotlivých fázích sekundárního obvodu přístrojových transformátorů proudu PTP, proto k jejich funkci potřebují sekundární střídavý proud. Časový a koncový člen ke funkci potřebují nezávislý zdroj stejnosměrného napětí. [4]



Obr. 2 Schéma nadproudové nezávislé nesměrové ochrany [4]

Nadproudové ochrany působí v závislosti na nadproudu a času, proto rozeznáváme několik charakteristik:

1) nezávislá nadproudová ochrana - pokud dojde k dosažení proudu I_k působí v nastaveném čase t_k . Dojde-li ke zvýšení proudu $I > I_k$ doba působení nezávisí na velikosti měřeného proudu, průběh této charakteristiky je zobrazen na obr. 3. [3]



Obr. 3 Charakteristika nezávislé nadproudové ochrany [3]

2) závislá nadproudová ochrana - čas vypnutí závisí na velikosti proudu, tvar charakteristiky je znázorněn na obr. 4

Vypínací čas u závislých ochran lze určit podle vztahu: [7]

$$t = TMS \left[\frac{k}{\left(\frac{I}{I_s} \right)^\alpha - 1} + c \right] \quad (1)$$

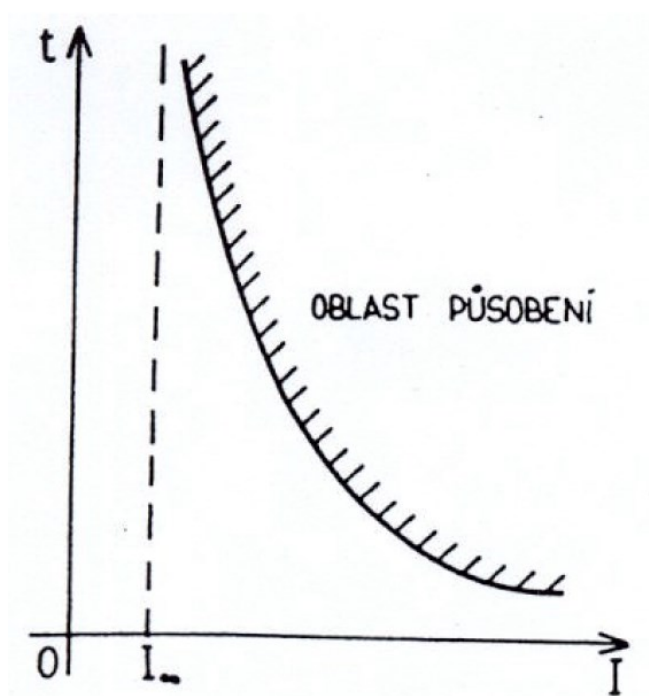
kde t teoretický operační čas v sekundách

k, c, α konstanty charakterizující vybranou křivku

I naměřená hodnota proudu

I_s startovací hodnota stupně I_s

TMS časový násobitel



Obr. 4 Charakteristika závislé nadproudové ochrany

Rozlišujeme čtyři základní druhy charakteristik: [3]

typ A - normálně inverzní

typ B - velmi inverzní

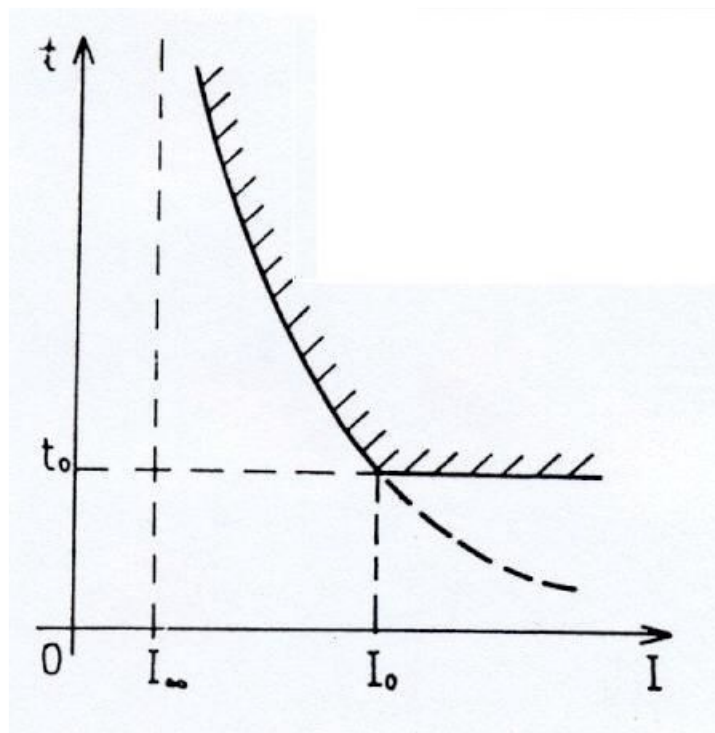
typ C - extrémě inverzní

typ D - dlouhodobě inverzní

Tab. 1 Hodnoty konstanty a indexu pro jednotlivé charakteristiky [7]

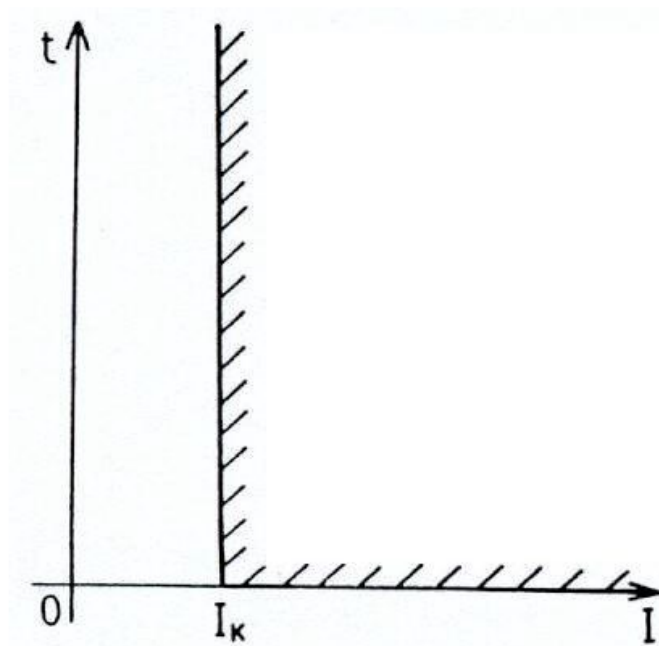
	A	B	C	D	E	F
k (s)	0,14	13,5	80,0	0,0515	19,61	28,2
α (-)	0,02	1	2	0,02	2	2
c (s)	0	0	0	0,1140	0,491	0,1217

3) polozávislá nadproudová ochrana - její charakteristika působení je stejná, jako u závislé nadproudové ochrany jen do velikosti proudu I_0 . Jakmile proud přesáhne hranici proudu I_0 , má dobu působení nezávislou na velikosti proudu (působí stejně jako nezávislá nadproudová ochrana). Charakteristika polozávislé nadproudové ochrany je zobrazena na obr. 5. [3]



Obr. 5 Charakteristika polozávislé nadproudové charakteristiky [3]

4) mžiková ochrana - v okamžiku kdy dojde k překročení nastaveného proudu I_k , ochrana zapůsobí bez časového zpoždění. Zpoždění je pouze způsobeno vlastním časem ochrany, u moderních ochran je do 10 ms. Charakteristiku nalezneme na obr. 6. [3]



Obr. 6 Charakteristika mžikové nadproudové ochrany [3]

2.6 Napět'ové ochrany

Vznik a charakter přepětí

Zařízení elektrické soustavy se dimenzuje na napět'ovou hladinu, která je dána jmenovitým provozním napětím.

Přepětí je poruchový stav, kdy napětí mezi fázemi nebo mezi fází a zemí je vyšší jak jmenovité. Způsobuje poškození izolace, elektrických strojů, rozvodných zařízení a jejich důsledku mohou být ztráty.

Podle vzniku dělíme přepětí na:

- vnější atmosférické
- vnitřní - provozní (spínací)

Vnější přepětí

Jsou atmosférického původu a vznikají na venkovním vedení a zařízeních těmito způsoby:

- 1) přímým zásahem blesku do vedení
 - přepětí dosahuje hodnoty 1 - 4 MV a pokud izolace vydrží, šíří se po vedení přepět'ové vlny rychlostí světla. Je-li toto přepětí větší než přeskokové napětí izolátoru, nastane přeskok, to znamená prudký pokles napětí a toto místo se stane zdrojem dalších strmých vln, které se šíří po vedení
- 2) elektrostatickou indukcí
 - atmosférická přepětí vznikají i vlivem elektrostatické indukce při výbojích blesků mezi mraky. Pak ve vedeních vzniká krátké přepětí o velkých hodnotách
- 3) nepřímým působením blesku
 - udeří-li blesk do země v blízkosti vedení, vzniká přepětí do 15 kV a ohrožuje jen vedení s nižší izolační hladinou

Vnitřní přepětí

Vznikají při poruchovém provozu nebo při spínání za normálního chodu. Nejčastěji se vyskytují při odpínání kapacitních nebo induktivních obvodů pojistkou nebo vypínačem.

Může být způsobeno těmito spínacími pochody:

- a) zapnutím vedení naprázdno
- b) náhlé odlehčení sítě
- c) rezonanční vlivy při spínání

Napětíové ochrany můžou být jak závislé, tak i nezávislé a mžikové. Charakteristiky jsou podobné proudovým (obr. 3, 4, 6). Liší se tím, že na vodorovné ose nevynášíme proud, ale napětí.

Dále se napětíové ochrany dělí na:

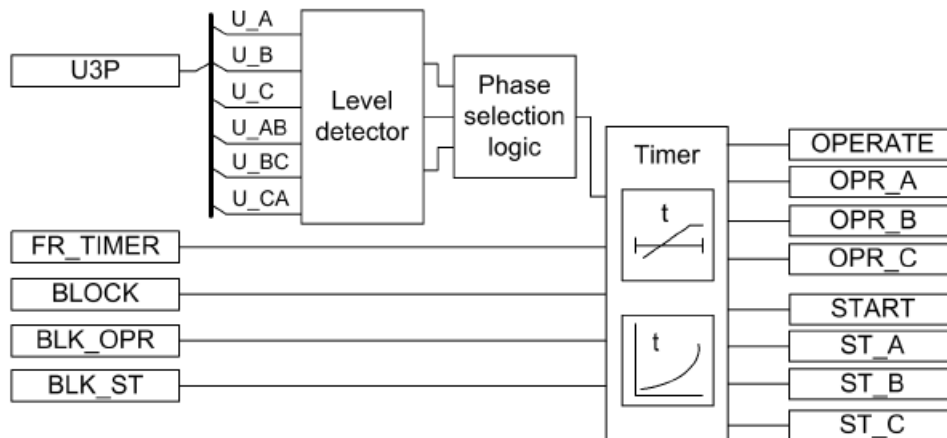
- a) podpětíové
 - blokování proudových ochran
 - ochrana "při přetížení podpětím"
- b) přepětíové
 - ochrana izolace

Přepětíová ochrana

Například třífázová přepětíová ochrana je použita na výkonové prvky, jako například motory, generátory, transformátory a elektrická vedení, aby chránila objekty před přepětím, které může poškodit izolaci. To by vedlo k poškození celého zařízení a jeho oprava by byla velmi nákladná.

Podpětíová ochran

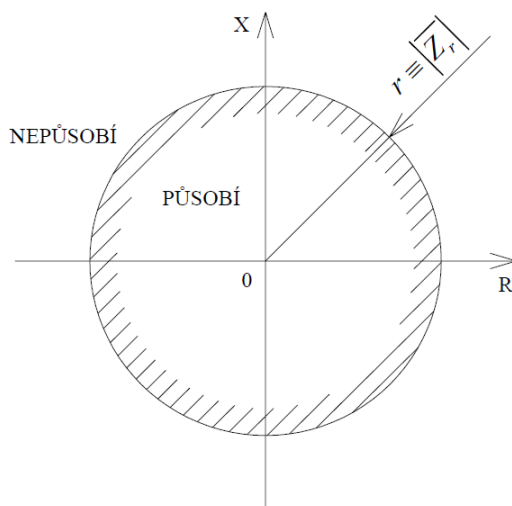
Používá se pro chránění generátorů, transformátorů, motorů a elektrických vedení, aby detekovala podpětí. To je způsobeno abnormálním provozem nebo poruchou na vedení. Může být použita v kombinaci s nadproudovou ochranou. Elektrická zařízení například elektrické motory jsou pomocí podpětíové ochrany odpojeny od sítě, protože pokud jsou provozovány při podpětí, dojde k jejich poškození. Také zabraňuje senzitivnímu zařízení, aby pracoval v podmínkách, které by mohly způsobit přehřívání a tudíž zkrácení životnosti.



Obr. 7 Funkční diagram napětíové ochrany [6]

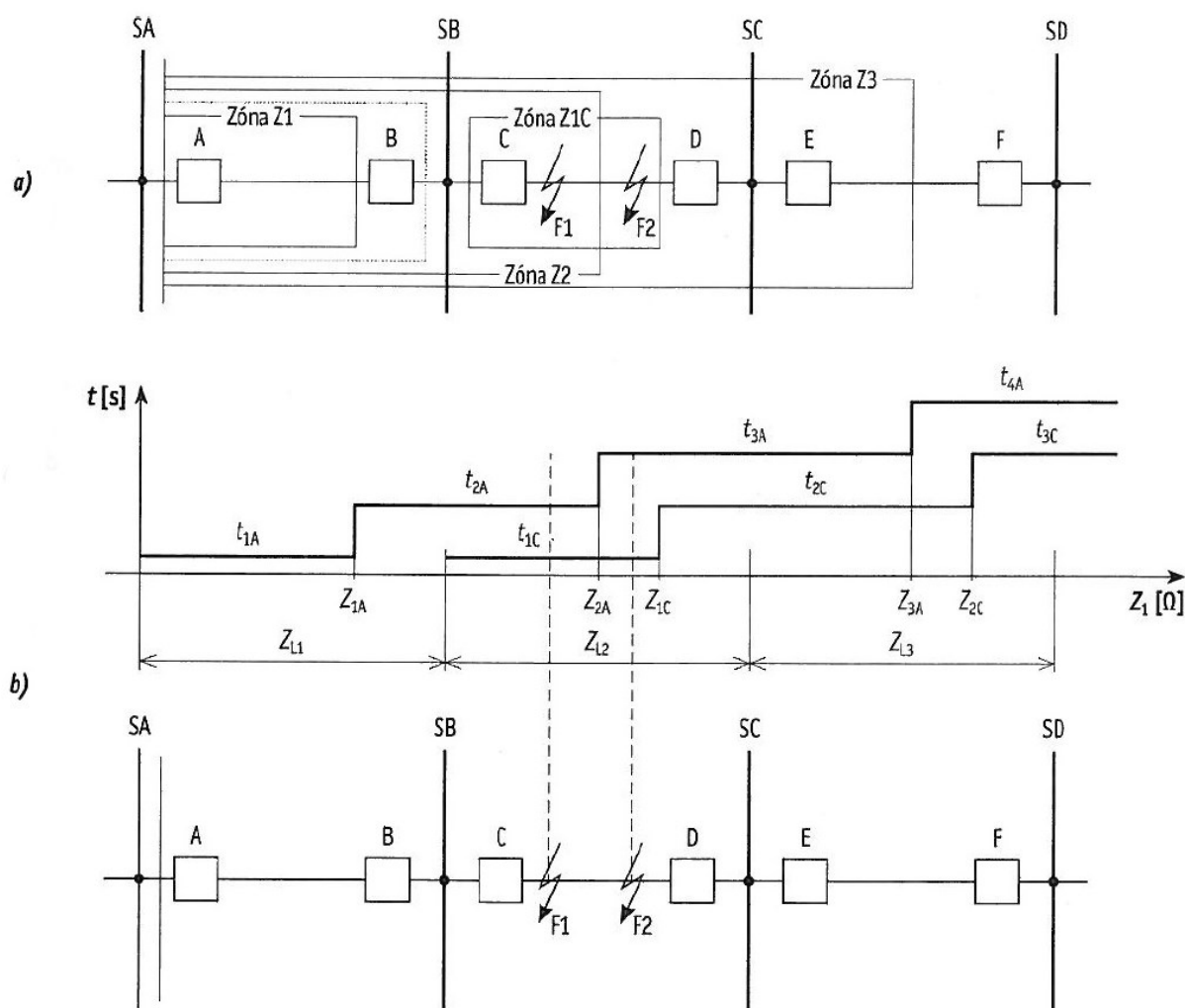
2.7 Distanční ochrana

Tato ochrana měří impedanci poruchové smyčky od místa vybudování ochrany do místa poruchy. Distanční ochrany mohou být konstrukčně řešeny i tak, že budou reagovat na jiné veličiny, nežli impedanci. Například je možné, aby reagovaly na reaktanci, admitanci a apod. Pro jejich činnost je vhodná správná volba parametrů. Distanční ochrany hojně používají pro analýzu charakteristik impedančního působení zobrazení impedance v komplexní rovině, tzv. R - X diagram (obr. 8). [4]



Obr. 8 Vypínací charakteristika distanční ochrany [4]

Jedna z vlastností této ochrany je, že používá stupňový typ vypínací charakteristiky, obr. 9a. Hlavním úkolem distanční ochrany A, v případě vzniku poruchy, je okamžité vypnutí poruchy v celé délce chráněného vedení, které se nachází mezi stanicemi SA a SB (obr. 9b). Dosah zóny, který je naznačen na obr. 9a čárkovaně nelze nastavit na impedanci Z_{L1} odpovídající 100% délce vedení. Důvodem je impedanční měřicí člen, který měří s chybou $\pm 5 \%$ z impedančního nastavení. Kdyby došlo k přesahu chyby měření impedance ochrany A, při blízkém zkratu F1 na vedení mezi stanicemi SB - SC, došlo by k neselektivnímu působení ochrany. Proto se zóna Z1, ve které ochrana A působí v rychlém čase t_{1A} (obr. 9b), zkracuje na 80 % až 90 % délky vedení. Díky tomu, porucha v oblasti od konce zóny Z1 po přípojnici stanice SB není vypínána okamžitě, ale s časovým zpožděním t_{2A} . [4]



Obr. 9 Chránění vedení Z_{L1} distanční ochranou, a) zóny chránění, b) stupňová vypínací charakteristika [4]

Distanční ochrany se nejčastěji využívají k chránění komplikovaných sítí zvn, vvn a vn. Složité sítě vznikají koncentrací zdrojů s velkými výkony, nebo postupným zhušťováním vedení skrze propojování jednotlivých elektrických stanic. Takovéto komplikované vedení vyžaduje rychlé a přesné vypnutí daného poškozeného úseku. [4]

2.8 Chránění elektrických strojů

Ochrany transformátorů

Poruchy transformátorů lze rozdělit na vnitřní a poruchy způsobené tokem proudu přes transformátor. Vnitřní poruchy rozeznáváme dvojího typu: [4]

- a) Poruchy s možností okamžité detekce
- b) Poruchy vznikající postupně

Poruchy, které lze detekovat okamžitě jsou: [4]

- zkrat na svorkách
- zkrat na vinutí transformátoru
- zkrat mezi vinutími
- zemní poruchy, závitové zkraty terciárních vinutí

Postupně vznikající poruchy jsou následující: [4]

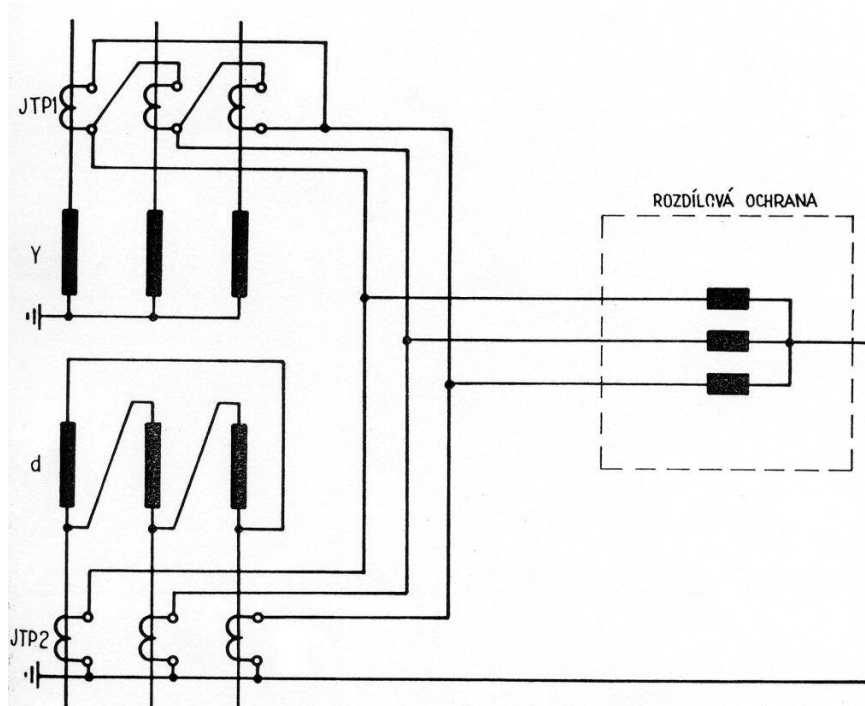
- špatná izolace plechu, nekvalitní galvanické spoje způsobují oblouky uvnitř nádoby transformátoru
- poruchy chlazení
- chybná regulace napětí

Vybavení transformátoru ochranami závisí na jejich důležitosti a velikosti výkonu. Ochrana musí zajistit tyto hlavní funkce: [4]

- určit poruchu, nebo překročení normálního provozu
- v případě poruchy odpojit transformátor od zdroje v čase, který minimalizuje rozsah škody

Mezi hlavní ochrany transformátorů patří rozdílová ochrana, která se liší od rozdílové ochrany vedení těmito znaky:

- a) je zapojena na jistící transformátory proudu, které nemají ideálně sladěné převody. Proto je zapotřebí věnovat pozornost jak její kompenzaci, tak i správnému nastavení citlivosti měřicího členu, aby ochrana fungovala správně a chybně nepůsobila při normálním provozu nebo vnějších zkratech. [3]
- b) u silového transformátoru, který má odlišné hodinové úhly vinutí, je nutné provést sladění převodů transformátorů proudů, a také vyrovnání jejich fázového natočení. Vyrovnání fázového natočení proudů přiváděných k rozdílové ochraně pro spojení Y d uvedeno na obr. 10. [3]

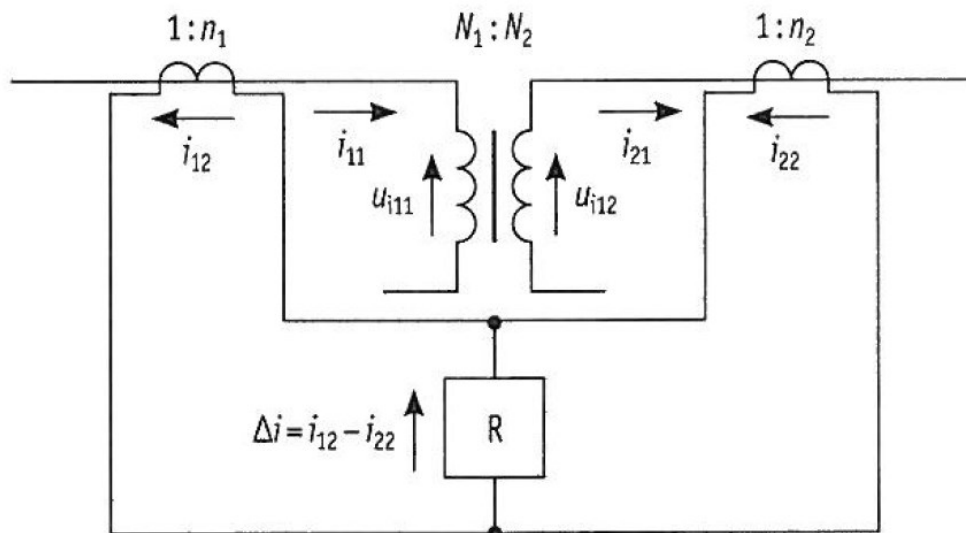


Obr. 10 Schéma vyrovnání fázového natočení proudů [4]

Pokud budeme uvažovat jednofázový transformátor s dvěma vinutími, jak je znázorněno na obr. 11. V době normálního provozu transformátoru algebraický součet ampérzávitů primárního a sekundárního vinutí musí být roven magnetomotorické síle potřebné k nastavení provozního toku v jádře. Jelikož vzduchová mezera v jádře je velmi malá, můžeme magnetomotorickou sílu zanedbat, a pak pro běžný transformátor platí: [4]

$$N_1 \cdot i_{11} = N_2 \cdot i_{21} \quad (2)$$

kde i_{11} , i_{21} primární a sekundární proud chráněného transformátoru



Obr. 11 Princip rozdílové ochrany jednofázového transformátoru [4]

Ochrany generátorů

Generátorová ochrana musí omezit velikost vzniklé poruchy v co největším rozsahu, aby vadný stroj mohl být opraven v co nejmenší možné míře a v nejkratší době. Také musí vyřadit nefunkční generátor v co nejkratší době a odpojit ho od sítě, aby nerušil ostatní provoz. [3]

Druhý úkol má význam u poruch, při nichž by provoz s vadným strojem nebyl možný (vadný generátor pracuje souběžně s jinými generátory). Pokud jde o poruchy takového rázu, kdy provoz není bezprostředně ohrožen, dává se přednost hlášení ochrany pomocí řídicího systému. Ochrana následně pouze upozorní obsluhu, že došlo k poruše na daném stroji, ale nedošlo k vyřazení z provozu, toto rozhodnutí se ponechá na obsluze. Aby ochrana omezila velikost poruchy, musí být citlivá a rychle působit. Pro zachycení vady v počátku, kdy je poškození stroje malé, je velice důležitá citlivost ochrany. Rychlé působení ochrany je zvláště důležité u rychle se rozvíjejících poruch, má-li se vadný stroj odpojit od sítě s co nejmenším poškozením. [3]

Pro detekování poruch generátoru byla vytvořena celá řada ochran, které jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Seznam ochran pro dané poruchy [3]

Porucha generátoru	Ochrana
Přetížení	Nadproudová
Spojení mezi vinutími	Rozdílová
Spojení vinutí statoru na kostru	Zemní statoru
Spojení vinutí rotoru na kostru	Zemní statoru
Spojení mezi závity téže fáze	Závitová
Zvýšení napětí	Přepět'ová
Snížení napětí	Podpět'ová
Zvýšení otáček	Přepět'ová
Poškození stroje, který pohání generátor	Zpětná
Přehřátí některé části stroje	Kontaktními teploměry

3 Popis ochrany REF-630

IED REF630 na obr. 12 (IED = Inteligentní elektronické zařízení) je komplexní IED pro ochranu, kontrolu, měření a monitorování vývodů distribučních rozvodů energetických společností i průmyslových podniků. REF630 patří mezi výrobky ABB a je jedním z produktové řady Relion® a zároveň je i součástí produktové řady 630, která je charakterizována funkční všestranností a flexibilní konfigurovatelností. IED REF630 je vybaveno nezbytnými ovládacími funkcemi, které vytvářejí základ ideálního řešení pro řízení pole vývodu. [5]



Obr. 12 IED REF630 [5]

3.1 Aplikace

IED REF630 má za úkol chránit venkovní vedení a kabelové vývody v distribučních sítích. IED je vhodné pro aplikace v sítích s izolovaným nulovým bodem i pro odporové nebo impedančně uzemněné sítě. Na výběr jsou čtyři předdefinované konfigurace, které vyhovují obvyklým požadavkům na chránění a ovládání vývodů. Tyto předdefinované konfigurace lze použít tak, jak jsou navrženy, nebo je snadno přizpůsobit dané aplikaci, popřípadě rozšířit o volné volitelné doplňkové funkce. IED je možné těmito funkcemi přesně nastavit a konfigurovat tak, aby odpovídalo specifickým požadavkům pro dané chránění. [5]

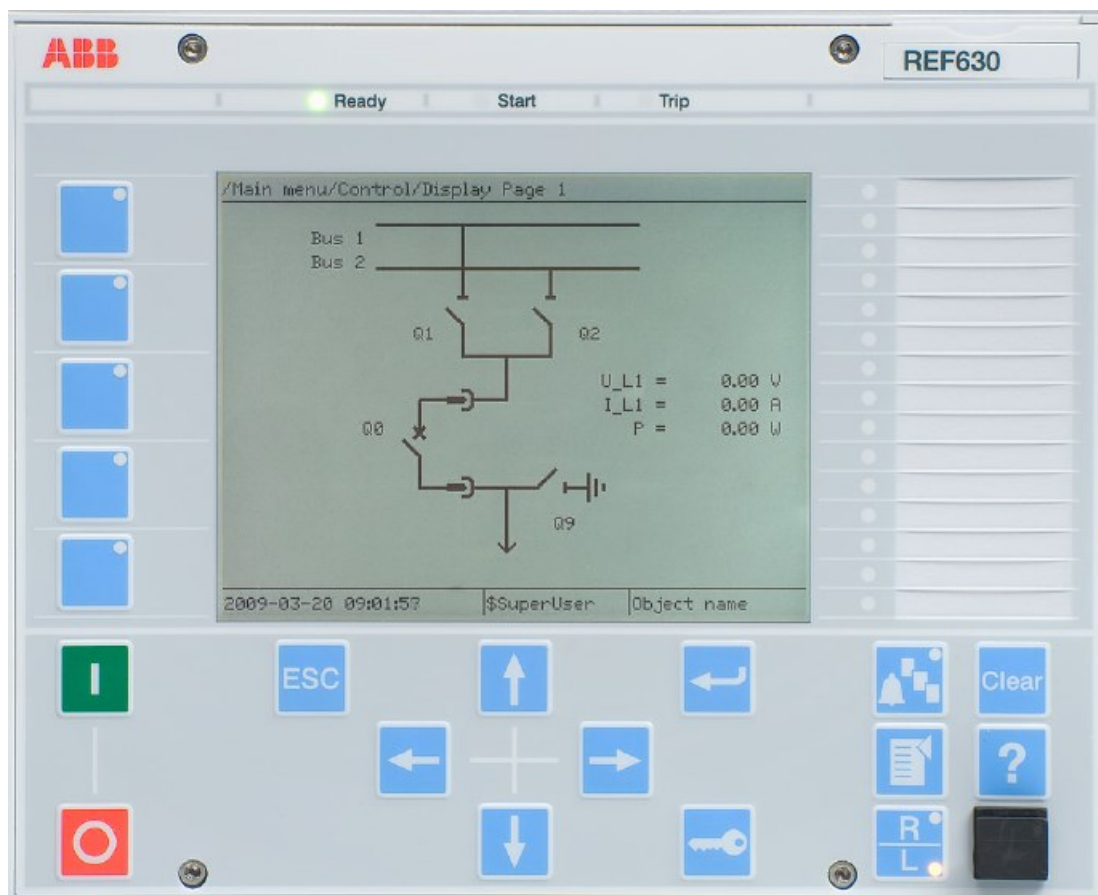
3.2 Hardwarové vybavení ochrany

Mechanický návrh IED je založen na robustním mechanickém rámu. Hardwarový (HW) design je navržen tak, aby bylo možné přizpůsobit konfiguraci HW modulu pro různé aplikace zákazníků.

Tab. 3 Obsah IED

Local human-machine interface (LHMI)	
Komunikační a CPU modul	<p>1 Ethernetový konektor pro oddělený LHMI modul (konektor nesmí být použit pro žádný jiný účel)</p> <p>1 Ethernetový konektor pro komunikaci (volitelný elektrický nebo optický kabel)</p> <p>IRIG-B (externí synchronizování času) konektor</p> <p>1 Dvojce konektorů z optických vláken pro sériovou komunikaci (volitelné plastové nebo skleněné vlákno)</p>
Pomocný silový/binární výstupní modul	<p>48-125 V DC nebo 100-240 V AC/110-250 V DC</p> <p>Vstupní kontakty pro dohled nad úrovní pomocné napájecí baterie</p> <p>3 normálně otevřené silové výstupní kontakty s TCS</p> <p>3 normálně otevřené silové výstupní kontakty</p> <p>1 přepínací signalizační kontakt</p> <p>3 přídavné signalizační kontakty</p> <p>1 výstupní kontakt vnitřní poruchy</p>
Analogový vstupní modul	<p>3 nebo 4 proudové vstupy (1/5 A)</p> <p>4 nebo 5 napětíové vstupy (100/110/115/120)</p> <p>Max. 1 přesný proudový vstup pro citlivou ochranu zemní poruchu (0,1/0,5 A)</p>
Binární vstupní a výstupní modul	<p>3 normálně otevřené silové výstupní kontakty</p> <p>1 přepínací signalizační kontakt</p> <p>5 přídavných signalizačních kontaktů</p> <p>9 binárních kontrolních vstupů</p>
RTD (odporový teplotní detektor) vstupní a mA výstupní modul	<p>8 RTD-vstupů (senzor/R/V/mA)</p> <p>4 výstupy (mA)</p>

3.3 Lokální rozhraní člověk-stroj (LHMI)



Obr. 13 LHMI [6]

LHMI obsahuje následující prvky:

- displej
- tlačítka
- LED indikátory
- komunikační port

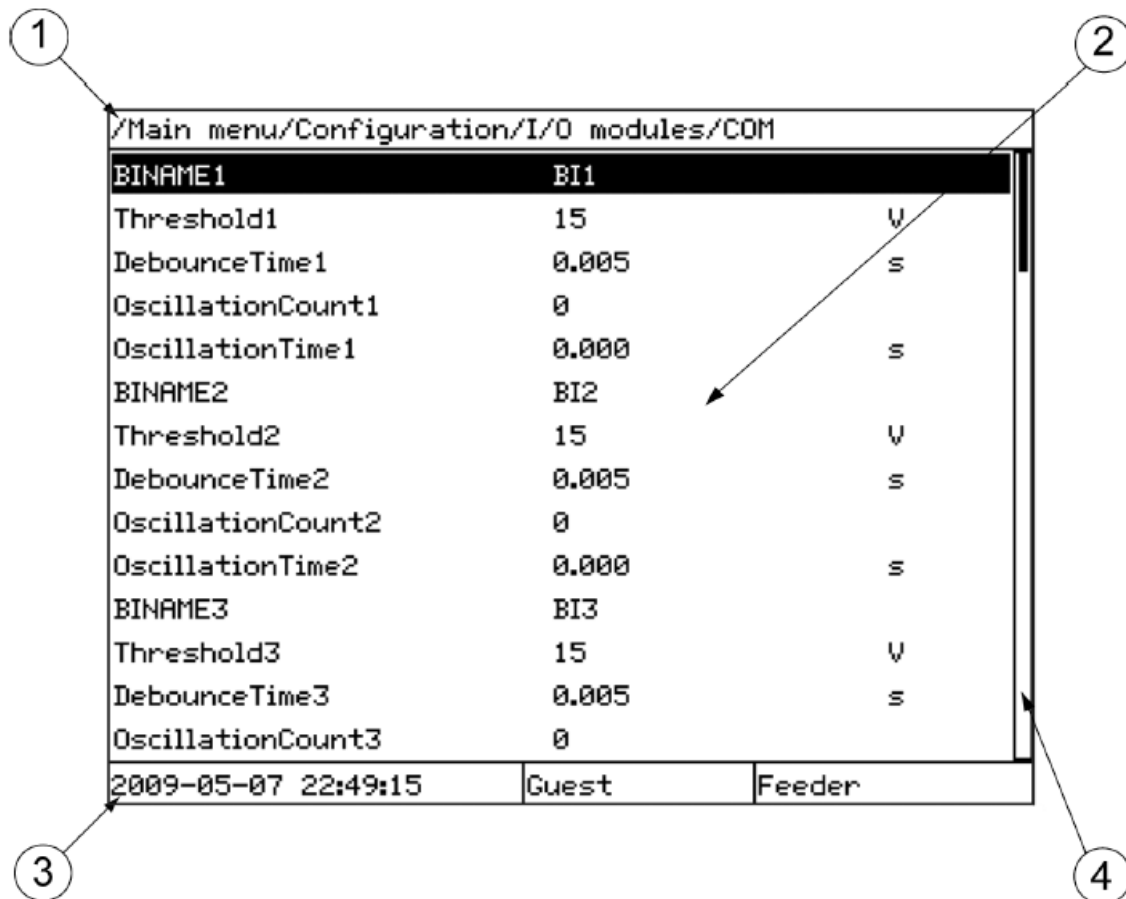
LHMI je použit pro nastavení, monitorování a kontrolu.

Displej

LHMI zahrnuje grafický černobílý displej s rozlišením 320 x 240 pixelů. Charakteristická velikost se může lišit. Množství znaků a řádků, které se vejdou do obrazu, závisí na velikosti znaku a na pohledu, který je zobrazen.

Obraz displeje je rozdělen do čtyř základních oblastí:

- 1 Cesta
- 2 Obsah
- 3 Stav
- 4 Posuvník (zobrazí se v případě potřeby)



Obr. 14 Rozložení displeje [6]

Klávesnice

LHMI klávesnice obsahuje tlačítka, která jsou použita pro navigaci v různých pohledech a menu. Pomocí tlačítek můžeme kontrolovat objekty v jednofázovém diagramu, např. jističe nebo odpojovače. Tlačítka jsou také použity pro potvrzení alarmu, resetování indikátorů, poskytnutí pomoci nebo přepnutí mezi ručním nebo dálkovým kontrolním módem.

Na klávesnici také nalezneme programovatelná tlačítka, která mohou být nakonfigurována buď jako zkratka do menu, nebo jako kontrolní tlačítka.

3.4 Předkonfigurované verze IED

IED řady 630 jsou nabízena s volitelnými a ve výrobním závodě nastavenými předkonfigurovanými verzemi, ty jsou určeny pro různá aplikační použití. Tyto verze mají menší nároky na inženýring IED a jejich uvedení do provozu je snadnější a rychlejší. Nastavené konfigurace obsahují standardní funkce potřebné k běžnému použití a pro specifické aplikace. Všechny předkonfigurované verze IED můžeme upravit prostřednictvím nástroje PCM600 (Protection and Control IED C). Upravením dané předkonfigurované verze lze IED konfigurovat tak, aby vyhovovala dané aplikaci. [5]

Tato změna předkonfigurované verze IED může podle požadavků specifické aplikace obsahovat doplnění nebo zrušení ochranných, ovládacích nebo dalších funkcí, změnu standardního nastavení parametrů, změnu konfigurace standardně definovaných výstrah (alarmů) i změnu nastavení zapisovače změnových stavů, včetně změn textů zobrazených na rozhraní HMI, změnu konfigurace indikačních LED diod a funkčních tlačítek i modifikaci standardního jednopólového schématu. [5]

Změna předkonfigurované verze zařízení musí obsahovat komunikační inženýring, kterým je provedena úprava komunikace podle skutečné funkčnosti IED. Komunikační inženýring je prováděn konfigurací komunikačních funkcí nástrojem PCM600. [5]

Tab. 4 Předkonfigurované verze IED REF630 [5]

Předkonfigurovaná verze	Popis
A	Verze pro vývod otevřené / uzavřené kruhové sítě
B	Verze pro vývod radiálního venkovního / smíšeného vedení
C	Verze pro vývod v kruhové / zauzlené síti
D	Verze pro spínač přípojníc

3.5 Ochranné funkce

IED nabízí selektivní zkratové a nadproudové chránění včetně třífázové nesměrové nadproudové ochrany se čtyřmi nezávislými stupni a třífázové směrové nadproudové ochrany se třemi nezávislými stupni. Kromě toho je IED vybaveno třífázovou funkcí detekce zapínacího proudu, která je určena pro blokování zvolených stupňů nadproudových ochran nebo pro zvýšení nastavených hodnot těchto stupňů. Vestavěná ochranná funkce proti tepelnému přetížení využívá tepelné modely vhodné pro venkovní vedení a kabely. Nadproudová ochrana s dvěma nezávislými stupni, která vyhodnocuje zpětnou složku proudu, se využívá pro chránění při nesymetrických zatížení fází systému. IED také nabízí ochranu při fázové nevyváženosti. [5]

Další výbavou IED je selektivní zemní ochrana a ochrana pro dvoufázové zemní poruchy, které jsou určeny pro systémy s izolovaným nulovým bodem, pro odporové a impedančně uzemněné systémy i pro účinně uzemněné sítě. Chránění proti zemním poruchám je zajištěno nesměrovou zemní ochranou se čtyřmi nezávislými stupni. Kromě klasických zemních ochran nabízí i zemní wattmetrickou ochranu a zemní admitanční ochranu. [5]

Implementovaná ochrana přechodné a přerušované zemní poruchy funguje na bázi detekce přechodových jevů při zemních poruchách, které souvisejí s trvalými nebo přerušovanými poruchami. Přerušovaná zemní porucha je specifický typ zemní poruchy, který se může objevit v kompenzovaných sítích na úložných kabelech. V kvalitně uzemněných nebo v kompenzačních sítích jsou zemní poruchy s malým odporem detekovány ochranou pro přechodné a přerušované zemní poruchy. [5]

Přepět'ová ochrana se třemi nezávislými stupni, která vyhodnocuje nulovou složku napětí, se využívá pro chránění při zemních poruchách na přípojnicích rozvodny, na přívodu do rozvodny a jako záložní ochrana vývodů. [5]

V nabídce IED je i distanční ochrana, která je vybavena jak zónovými kruhovými (MHO) charakteristikami, tak i zónovými čtyřúhelníkovými charakteristikami. Distanční ochrana má tři nezávislé zóny se samostatně nastavitelnými dosahy měřících členů mezifázových i zemních poruch a dvě zóny pro řízení funkce automatického opětovného zapnutí vypínače. IED také obsahuje logiku automatiky zapnutí do poruchy, u které je možnost zvolit princip detekce poruchy na bázi vyhodnocení napětí a proudu. [5]

Ve výbavě IED nalezneme napět'ové ochranné funkce, například třífázovou podpět'ovou i přepět'ovou ochranu, každou s třemi nezávislými stupni a s měřením jak sdruženého, tak i fázového napětí. Nadfrekvenční a podfrekvenční ochrana se také nachází v IED, dále také ochrana vyhodnocující rychlost změny frekvence, můžeme je použít v logikách funkce odpínání zátěže a v aplikacích opětovného obnovení provozního stavu sítě. [5]

Další funkcí IED je trojpólové vícenásobné automatické opětovné zapnutí určené pro vývody venkovních vedení. [5]

Pro případ selhání vypínače je IED vybavena ochranou, která umožňuje opětovné vypnutí vlastního vypínače, nebo záložní vypnutí nadřazeného vypínače. [5]

3.6 Ovládání

IED obsahuje funkce pro místní i dálkové ovládání a také nabízí značný počet volně konfigurovatelných binárních vstupů, výstupů a logických obvodů, které umožňují vytvářet funkce ovládání pole rozvodny i funkce blokovacích podmínek pro vypínače a pohony ovládané spínače nebo odpojovače. Pomocí IED lze ovládat pole rozvodny v uspořádání, jak s jednoduchou přípojnící, tak i s dvojitou přípojnící. Počet ovladatelných primárních prvků závisí na počtu dostupných vstupů a výstupů v navolené konfiguraci IED. Při výměně signálů mezi jednotlivými IED, je možné použít místo obvyklého propojení signálů vodiči, systém přenosu zpráv GOOSE podle standardu IEC 61850-8-1, a tímto způsobem realizovat požadované blokovací podmínky ovládání. [5]

IED má navíc funkci kontroly synchronního stavu (Synchrocheck), která kontroluje, zda hodnoty napětí, fázového úhlu i frekvence na obou stranách spínaného prvku splňují definované podmínky pro bezpečné spínání dvou sítí. [5]

3.7 Určení místa poruchy

IED REF630 je opatřeno funkcí měřící impedanci, která má za úkol určení místa poruchy a je vhodná pro zaměření zkratů v radiálních distribučních systémech. Zemní poruchy můžeme lokalizovat v účinně uzemněných sítích a v sítích uzemněných přes odpor s nízkou ohmickou hodnotou (odporově uzemněné sítě). Zemní poruchy lze lokalizovat v distribučních sítích s izolovaným nulovým bodem za předpokladu, že hodnota poruchového proudu je přibližně stejná, nebo je dokonce vyšší než hodnota proudu zátěže. Funkce určení místa poruchy (lokátor poruchy) rozpozná typ poruchy a následně vypočte vzdálenost do bodu, kde došlo k poruše. Současně se vzdáleností je také určena přibližná hodnota odporu poruchy. Tato hodnota dává informaci o možné příčině poruchy a dále určuje přesnost údaje o předpokládané vzdálenosti do bodu, kde došlo k poruše. [5]

3.8 Měřící funkce

IED nepřetržitě měří fázové proudy, souslednou i zpětnou složku proudů a nulový proud (nulovou složku proudu). IED současně měří i fázová nebo sdružená napětí, souslednou i zpětnou složku napětí a nulové napětí (nulovou složku napětí). IED také monitoruje činný, jalový i zdánlivý výkon, účinník, hodnotu odběru (spotřeby) energie za časový interval, který je volitelný a přednastavený uživatelem, stejně tak jako narůstající celkovou spotřebu činné a jalové energie v obou směrech. IED dále počítá hodnoty frekvence a teploty vedení i hodnotu fázové nesymetrie na bázi poměru mezi zpětnou složkou proudu a souslednou složkou proudu. Vypočtené hodnoty celkové i průměrné spotřeby jsou ukládány v energeticky nezávislé paměti IED. [5]

Měřené hodnoty jsou dostupné místně prostřednictvím uživatelského rozhraní na čelním panelu IED, nebo dálkově prostřednictvím komunikačního rozhraní IED. Místní i dálkový přístup k těmto hodnotám je také možný prostřednictvím uživatelského rozhraní, které pracuje na bázi internetového prohlížeče. [5]

3.9 Poruchový zapisovač

V IED je integrován poruchový zapisovač s 40 analogovými kanály a 64 kanály binárních signálů. Analogové kanály lze nastavit pro záznam průběhů měřených proudů a měřeného napětí. Analogové kanály můžeme nastavit tak, že spouštějí záznam v okamžiku, kdy měřená hodnota poklesne pod nastavenou hodnotu, popřípadě překročí nastavenou hodnotu. Kanály binárních signálů je možné nastavit tak, že záznam spouštějí náběžnou hranou nebo sestupnou hranou binárního signálu. Binární kanály jsou určeny a nastaveny pro záznam externích nebo interních signálů IED, například pro záznam popudových nebo vypínacích signálů ochranných funkcí nebo pro záznam externích blokovacích, případně ovládacích signálů. Binární signály IED, jako jsou například popudové nebo vypínací signály, případně externí ovládací signály IED připojené k binárním vstupům, lze nastavit tak, aby záznam spouštěly. Nastavení poruchového zapisovače obsahuje parametr doby záznamu před spuštěním zapisovače i parametr doby záznamu po spuštění zapisovače. [5]

V paměti poruchového zapisovače můžeme uložit až 100 záznamů. Počet záznamů závisí na délce záznamu a na počtu monitorovaných signálů, tudíž skutečný počet záznamů se může od výše uvedeného počtu lišit. Poruchový zapisovač ovládá LED diody ‘Start’ (Popud) a ‘Trip’ (Působení) na čelním panelu uživatelského rozhraní. Aktivace těchto LED diod je konfigurovatelná a příslušná indikace je uvolněna, je-li splněno jedno nebo několik kritérií, to znamená, že byl aktivován popud ochranné funkce, nebo došlo k působení ochranné funkce. Zaznamenané data jsou uloženy v energeticky nezávislé paměti a tyto informace je možné načíst a použít při následné analýze poruchy. [5]

3.10 Monitorování vypínače

Funkce IED určená pro monitorování vypínače nepřetržitě kontroluje stav a pracovní podmínky daného vypínače. Toto monitorování zahrnuje kontrolu času vyžadovaného pro natažení pružiny vypínače, kontrolu tlaku plynu SF₆ a monitorování hodnot v čítači manipulací s vypínačem, ve výpočetní funkci akumulované energie, ve funkci odhadu doby životnosti vypínače i monitorování doby neaktivního stavu vypínače. Monitorovací funkce poskytují data a informace o historii provozu vypínače, které je možné použít pro plánování programů preventivní údržby vypínače. [5]

3.11 Funkce kontroly poruchy pojistek

Funkce kontroly poruchy pojistek (jištění) detekuje poruchy v úseku mezi obvodem měření napětí a IED. Poruchy jsou rozpoznány buď algoritmem, který funguje na bázi vyhodnocení zpětných složek napětí a proudu, nebo algoritmem, který funguje na bázi vyhodnocení rozdílu napětí a rozdílu proudu. V případě detekce poruchy je funkcí kontroly poruchy pojistek (jištění) aktivována výstraha (alarm) a proti nežádoucímu vypnutí jsou funkce blokovány napěťově závislé ochranné funkce. [5]

3.12 Funkce kontroly proudového obvodu

Funkce kontroly proudového obvodu je využita pro detekci poruch a chyb v sekundárních obvodech transformátorů proudu. Při detekci poruchy můžeme funkcí kontroly proudového obvodu aktivovat výstražnou LED diodu (alarm) a blokovat určité ochranné funkce proti nežádoucímu vypnutí. [5]

3.13 Vstupy a výstupy

Podle vybrané HW konfigurace je IED vybaveno třemi vstupy pro fázové proudy a jedním vstupem nebo dvěma vstupy pro nulový proud, které jsou určeny pro zemní ochranu. IED je pokaždé vybaveno jedním vstupem pro měření nulové složky napětí, který je určen pro zemní směrovou ochranu nebo pro ochranu vyhodnocující nulovou složku napětí. IED je kromě toho vybaveno třemi vstupy pro fázová napětí, které jsou pro přepětovou a podpětovou ochranu, směrovou nadproudovou ochranu i ostatní napěťové ochranné funkce. Podle zvolené HW konfigurace je IED vybaveno jedním napěťovým vstupem rezervovaný pro funkci kontroly synchronního stavu (Synchrocheck). [5]

Vstupy pro fázové proudy mají jmenovitou hodnotu 1 / 5 A. IED je opatřeno jedním vstupem nebo dvěma vstupy pro nulový proud ve dvou alternativách, se jmenovitou hodnotou 1 / 5 A nebo 0,1 / 0,5 A. Vstup s rozsahem 0,1 / 0,5 A je nejčastěji použit v aplikacích, kde je vyžadována citlivá zemní ochrana a kde je k dispozici součtový transformátor proudu. [5]

Vstupy pro měření tří fázových napětí (lze připojit jak fázového, tak i sdruženého napětí) a vstupy pro měření nulové složky napětí mají rozsah, který zahrnuje hodnoty jmenovitých napětí 100 V, 110 V, 115 V a 120 V. Jmenovité hodnoty proudových i napěťových vstupů jsou nastaveny v SW vybavení IED. [5]

Nastavením parametrů IED jsou kromě toho také definovány prahové úrovně binárních vstupů. Prahové napětí lze nastavit samostatně pro libovolný binární vstup. [5]

Doplňkový RTD/mA modul zvládne měření až osmi analogových signálů pomocí RTD/mA vstupů a nabízí čtyři 'mA' výstupy. RTD/mA vstupy spolu se RTD čidly je možné použít pro měření teploty vinutí stroje (statorového vinutí) a tímto měřením zvětšit funkčnost ochrany proti tepelnému přetížení a zabránit předčasnému stárnutí vinutí stroje. RTD/mA vstupy lze použít pro měření teploty okolního vzduchu, teploty chladicího media nebo teplot ložisek. RTD/mA vstupy můžeme použít pro monitorování analogových 'mA' signálů z externích převodníků. RTD/mA vstupy je možné alternativně využít také, jako vstupy pro měření odporu, nebo jako vstupy měření signálu z napěťového převodníku. [5]

RTD/mA modul umožňuje v aplikaci využít víceúčelové analogové ochranné funkce. Tyto ochranné funkce, které fungují buď s daty měřenými RTD/mA modulem, nebo s daty analogových hodnot přenášených GOOSE zprávami, můžeme použít jak pro potřeby výstražných hlášení, tak i pro vypínání. 'mA' výstupy lze použít pro přenos volně volitelných měřených nebo vypočtených analogových hodnot na jiná zařízení vybavená 'mA' vstupy. [5]

4 Zapojení REF-630 do fyzikálního modelu vývodu

Ochrana REF-630, která se nachází v laboratoři Vysoké školy báňské - TUO, je zabudována v laboratorním stole spolu s dalšími zařízeními a výměnnými moduly. Tato zařízení nabízí mnoho variant pro návrh laboratorní úlohy.

Stůl ve kterém je ochrana zabudovaná obsahuje modul napájení. Ten slouží pro napájení vestavěných zařízení, měřené úlohy, tak i pro ochranu REF-630. Maximální bezpečnosti je dosaženo proudovým chráničem typu G s reziduálním proudem 30 mA, který je zabudován na vstupu napájecího modulu a má zvýšenou odolnost vůči proudovým rázům. Tato zvýšená odolnost je vhodná zvláště v tomto případě, kdy se na stole měří přechodné děje, tudíž nedochází k falešnému vybavení chrániče.

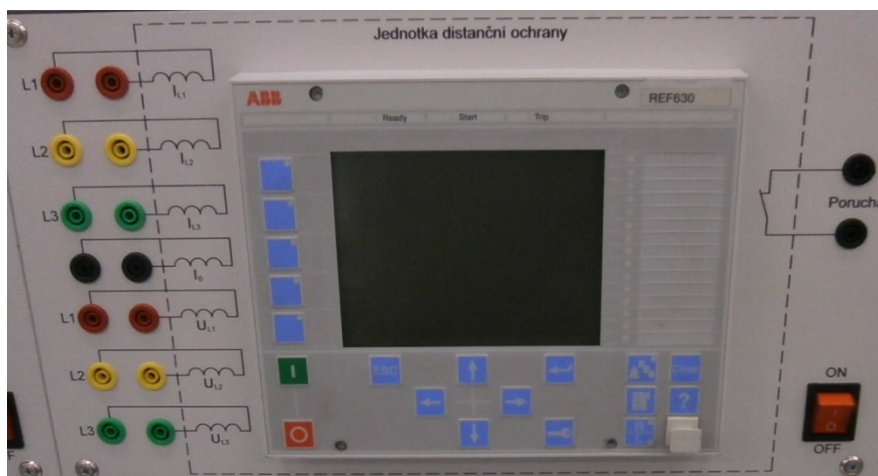
Napájení stolu (obr. 15) lze zapnout pomocí zeleného tlačítka ("Zap" - blok "Napájení úlohy"), indikace zapnutého stavu je zajištěna pomocí podsvícení. Pro vypnutí celého stolu včetně jeho zařízení je zde hlavní vypínač (hlavní vypínač pod indikací "Napájení stolu"), který je v provedení bezpečnostního tlačítka ve tvaru hříbu. Je-li stůl napájen lze dále zapnout jednotlivá vestavěná zařízení a také zdroj pro měřenou úlohu.



Obr. 15 Modul napájení

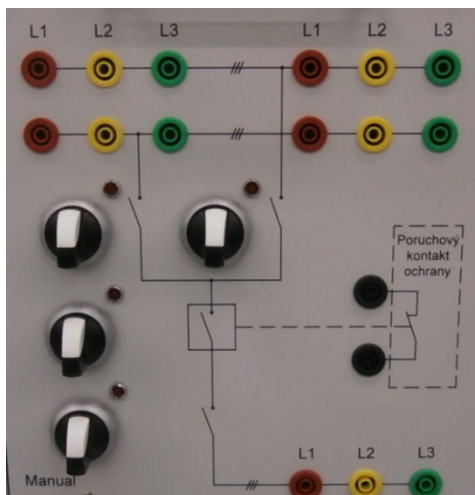
Měřicí úlohy jsou napájeny, pokud sepneme zelené tlačítko ("Zap" - blok "Napájení úlohy"). Vypnutí zajišťuje červené tlačítko ("Vyp" - blok "Napájení úlohy"). Napětí na výstupních svorkách je indikováno za pomoci červených kontrolky (L1, L2 a L3), jak lze vidět na obr. 15. Měřená úloha je chráněna proti nadproudu čtyřpórovým jističem s charakteristikou typu D. Ten zajistí ochranu proti dlouhodobému přetížení měřicího zařízení, ale také zajistí ochranu proti krátkodobým přetížením při měření úlohy.

Napájení ochrany REF-630 je spínáno pomocí kolébkového vypínače. Napěťové a proudové vstupy pro měření parametrů sítě jsou vyvedeny na svorky čelního panelu. Tyto vstupy jsou dimenzovány na proud 5 A s krátkodobou přetížitelností 500 A. Z ochrany je také vyveden binární výstup "Porucha", která je zobrazen na obr. 16.



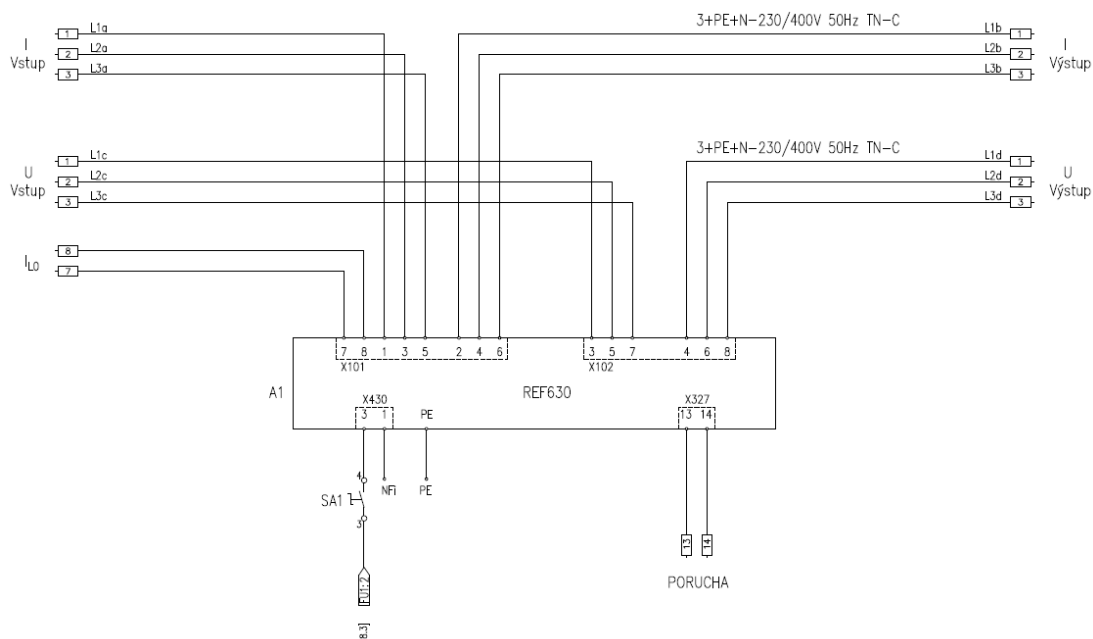
Obr. 16 Proudové a napěťové vstupy

Výměnný modu spínacího pole (obr. 17) obsahuje vypínač a tři odpojovače. Zapnutý stav indikují LED diody, které se nachází vedle otočného vypínače. Hlavní vypínač je pomocí "poruchového kontaktu ochrany" vypnut a pak blokován, pokud je na poruchový kontakt přivedena logická nula (poruchový kontakt je bez napětí). Pro opětovné zapnutí se musí odblokovat přes ochranu REF-630, tím se na poruchový kontakt přivede logická jednička (poruchový kontakt je pod napětím).



Obr. 17 Výměnný modul

Na obr. 18 je znázorněno schéma zapojení ochrany REF-630 z něj je patrné, že napájení je přivedeno na svorkovnici X430. IED je také chráněno proti nadproudu pomocí pojistky 5A / 230V, ze které vede fázový vodič na kolébkový vypínač. Dále ve schématu nalezneme svorkovnici X101, která slouží k přivedení proudových vstupů. Svorkovnice X102 se používá pro přivedení napěťových vstupů. Poslední použitá svorkovnice X327 je binární výstup, kterým je hlavní vypínač výměnného modulu vypínán a blokován.



Obr. 18 Schéma zapojení ochrany REF-630

5 Naprogramování ochrany

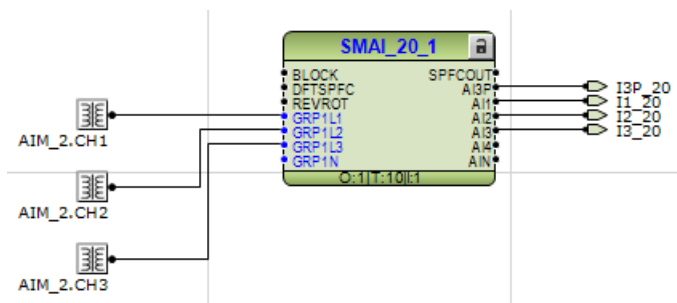
Ochrana REF-630, která je zabudovaná v laboratorním stole, nebyla nikdy použita k měření laboratorních úloh, a proto naprogramování muselo být vytvořeno od začátku.

Pro naprogramování IED slouží nástroj PCM600, ve kterém je možné upravit přednastavené konfigurace nebo vytvořit novou. Požadavky na zabudovanou ochranu REF-630 pro měření laboratorní úlohy byly následující:

- proudově závislá ochrana
- proudově nezávislá ochrana
- přepět'ová ochrana
- podpět'ová ochrana
- vypnutí a blokování hlavního vypínače výměnného modulu

Podle těchto požadavků byla vytvořena konfigurace, která se skládá například z analogových vstupů, měřících bloků, ochranných bloků, atd. Její aplikační konfiguraci lze vidět v příloze. Jednotlivé prvky konfigurace jsou popsány dále v této kapitole. V příloze se také nachází nastavení jednotlivých funkčních bloků.

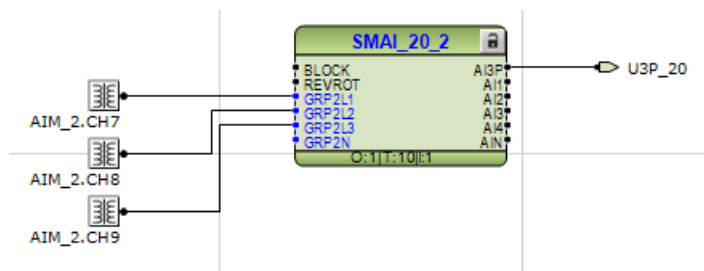
5.1 Matice signálu pro analogové vstupy proudu



Obr. 19 Funkční blok SMAI_20_1

Na obr. 19 můžeme nalézt zapojení funkčního bloku. Analogové proudové vstupy "AIM_2_CHx" měřených fází jsou zapojeny do vstupů bloku "GRP1Lx". Jediný výstupní signál, který se v této konfiguraci používá je "AI3P". Ten přenáší skupinový třífázový signál obsahující data ze vstupů GRP1Lx a GRP1N a je přiveden na vstup bloku třífázové proudové měřící funkce CMMXU.

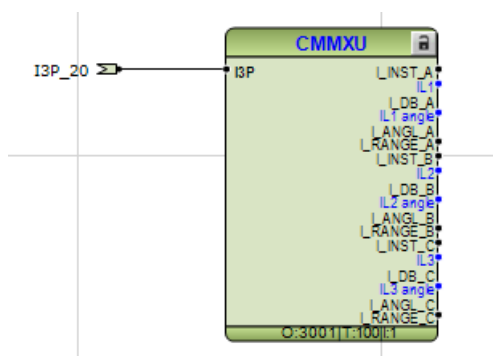
5.2 Matice signálu pro analogové vstupy napětí



Obr. 20 Funkční blok SMAI_20_2

Na obr. 20 nalezneme zapojení funkčního bloku "SMAI_20_2" pro napěťové vstupy, který se nachází v aplikační konfiguraci. Do vstupů "GRP2Lx" tohoto bloku signálů pro jednotlivé měřené fáze jsou zapojeny analogové vstupy napětí měřených fází "AIM_2_CHx". Výstupní signál, který je zde použit, přenáší skupinový třífázový signál obsahující data ze vstupů "GRP2Lx" a "GRP2N". Tento signál je připojen na vstup funkčního bloku třífázové napěťové měřicí funkce VPHMMXU.

5.3 Třífázová proudová měřicí funkce CMMXU



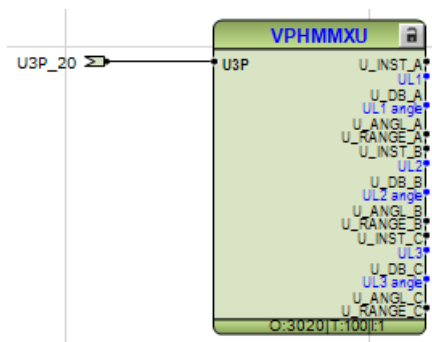
Obr. 21 Funkční blok CMMXU

Měřicí funkce je použita pro monitorování a měření jednotlivých fází proudů. Nabízí také rychlý a jednoduchý přehled současného stavu měřených veličin provozovateli systému.

Zapojení funkčního bloku třífázové měřicí funkce je uvedeno na obr. 21. Vstupní signál "I3P_20", který je přiveden z SMAI_20_1 je připojen na vstup bloku "I3P". V této konfiguraci není využit žádný výstupní signál použitého bloku.

5.4 Třífázová napěťová měřicí funkce VPHMMXU

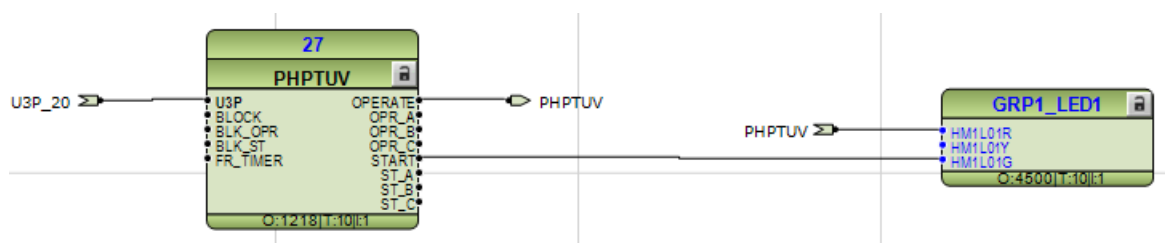
Pro monitorování a měření napětí se používá třífázová napěťová měřicí funkce VPHMMXU, kterou lze využít během testování a uvádění do provozu ochranných a kontrolních funkcí pro ověření. Správný chod měřicí funkce IED lze zkontrolovat během standardního servisu pomocí periodických srovnání změřených hodnot s jiným nezávislým měřením.



Obr. 22 Funkční blok VPHMMXU

Na jediný vstup "U3P" funkčního bloku VPHMMXU je zapojen vstupní signál "U3P_20", který je přiveden z funkčního bloku SMAI_20_2. U toho bloku se taktéž nepoužívají žádné výstupy.

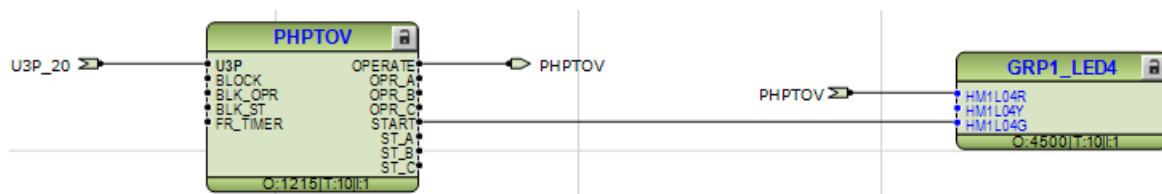
5.5 Podpět'ová ochrana PHPTUV



Obr. 23 Zapojení funkčního bloku PHPTUV

Jak můžeme vidět na obr. 23 na vstup U3P funkčního bloku podpět'ové ochrany je připojen vstupní signál "U3P_20" z bloku SMAI_20_2. Výstupní signály jsou u tohoto bloku použity dva. První výstupní signál START je propojen se vstupem "HM1L01G" funkčního bloku LED diody, která v případě působení ochrany začne svítit zelenou barvou. Druhý výstup OPERATE je zapojen do vstupu bloku logické funkce "OR" a vstupu bloku LED diody. Pokud podpět'ová ochrana zapůsobí, barva diody se změní na červenou. V parametrech LED diody je nastavený typ sekvence na "LatchedColl-S", to znamená že v případě aktivování vstupního signálu se indikace rozsvítí stálým světlem.

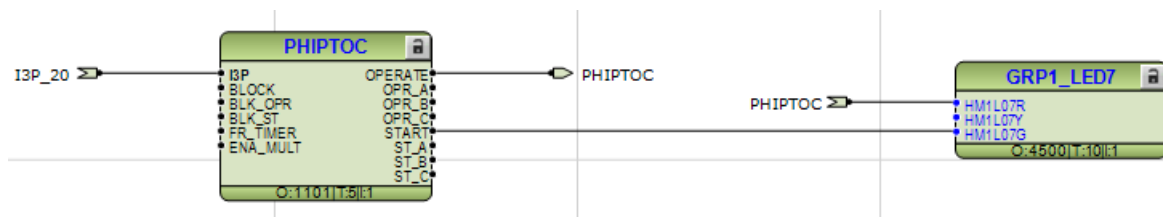
5.6 Přepět'ová ochrana PHPTOV



Obr. 24 Zapojení funkčního bloku PHPTOV

Zapojení třífázové přepět'ové ochrany je znázorněno na obr. 24 a je z něj patrné, že na vstup "U3P" bloku PHPTOV je opět přiveden vstup z bloku SMAI_20_2. Ten přivádí data měřených napětí. Zapojení výstupů a nastavení bloku LED diody je stejné jako v případě podpět'ové ochrany v předchozí kapitole.

5.7 Proudově nezávislá ochrana PHIPTOC

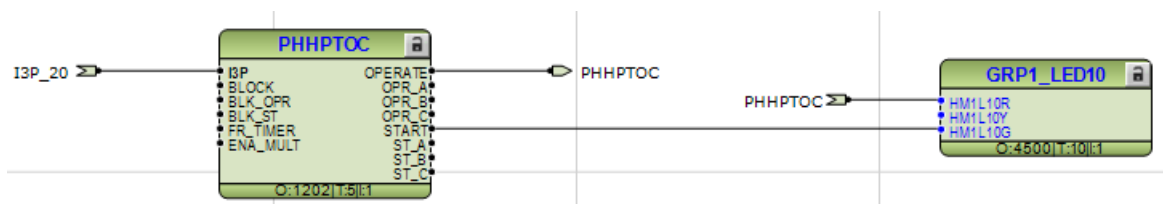


Obr. 25 Zapojení funkčního bloku PHIPTOC

PHIPTOC je označení funkčního bloku pro třífázovou nesměrovou nadproudovou ochranu, její zapojení je znázorněno na obr. 25. Tato proudová ochrana působí v nastaveném čase, při překročení prahové hodnoty proudu.

Do funkčního bloku PHIPTOC se přivádí vstupní signál z funkčního bloku SMAI_20_1 na vstup "I3P" (obsahující data měřených proudů). Výstupy jsou opět použity dva. V případě aktivování výstupu START se LED dioda rozsvítí zelenou barvou, pokud se aktivuje výstup "OPERATE" začne svítit LED dioda červeně. Výstup "OPERATE" je také zapojen do funkčního bloku logické funkce "OR".

5.8 Proudově závislá ochrana PHHPTOC



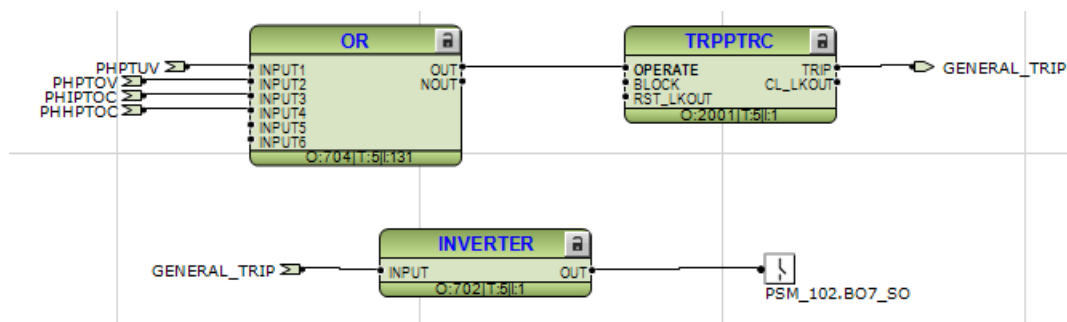
Obr. 26 Zapojení funkčního bloku PHHPTOC

Třífázová nesměrová nadproudová ochrana je funkční blok PHHPTOC, jehož zapojení je na obr. 26. Tuto nadproudovou ochranu je možné v jejích parametrech nastavit, buď jako proudově nezávislou nebo proudově závislou, pro tuto konfiguraci byl tento funkční blok nastaven jako proudově závislá nadproudová ochrana.

Vstupní signál "I3P_20" z funkčního bloku SMAI_20_1 je přiveden na vstup bloku PHHPTOC. Výstup "OPERATE" je zapojen jak do funkčního bloku logické funkce "OR" tak i do funkčního bloku LED diody (pokud je výstup aktivován indikace svítí červeně). Výstup "START" je přímo zapojen do bloku diody (při aktivování výstupu svítí dioda zeleně).

5.9 Logická funkce OR

Do tohoto funkčního bloku vedou výstupy "OPERATE" ze všech ochranných bloků v konfiguraci, proto bylo nutné zajistit, aby v případě aktivování jednoho ze čtyř vstupů, které vedou do bloku, byl aktivován výstup bloku "OUT". Zapojení tohoto funkčního bloku je uvedena na obr. 27.



Obr. 27 Zapojení funkčních bloků OR, TRPPTRC, INVERTER a binárního výstupu

5.10 Vypínací logika TRPPTRC

Funkce vypínací logiky je použita jako vypínací kolektor příkazů a ovladač po ochranných funkcích. Vlastnosti této funkce ovlivňují chování vypínacího signálu hlavního vypínače výměnného modulu. Uživatel může nastavit minimální délku vypínacího signálu, pokud je vybrán non-latched mód. V této konfiguraci bylo nutné zajistit trvalý vypínací signál, a proto bylo v parametru bloku zapnuto automatické uzamčení a vypínací uzamčení.

Vypínací logika je napojena na výstup "OUT" funkčního bloku "OR". Z Bloku TRPPTRC je vyveden výstup "TRIP", který je přiveden na vstup bloku "INVERTER" (zapojení lze vidět na obr. 27).

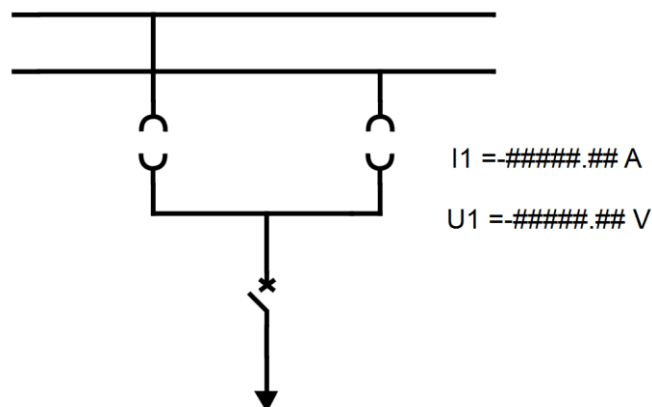
5.11 Funkční blok měniče INVERTER

Jak bylo zmíněno výstup z TRPPTRC je zapojen do funkčního bloku měniče, ze kterého vychází výstup "OUT" a ten je připojen do binárního výstupu (kontakt PORUCHA obr. 16). Zapojení tohoto funkčního bloku je znázorněno na obr. 27.

Tento funkční blok slouží ke změně logické jedničky na logickou nulu, jelikož je nutné, aby v případě působení jedné z ochranných funkcí byla na binárním výstupu "PSM_102.BO7_SO" logická nula a hlavní vypínač výměnného modulu bude blokován.

5.12 Konfigurace pro schéma na displeji

Schéma, které bylo vytvořené v grafickém editoru (obr. 28), obsahuje dva odpojovače a jeden hlavní vypínač. Aby se tyto prvky zobrazily na displeji ochrany, musela se k tomuto schématu udělat konfigurace, která bude zajišťovat vstupní signály pro odpojovače a vypínač. Použití vhodných funkčních bloků a jejich zapojení je zobrazeno na obr. 29.

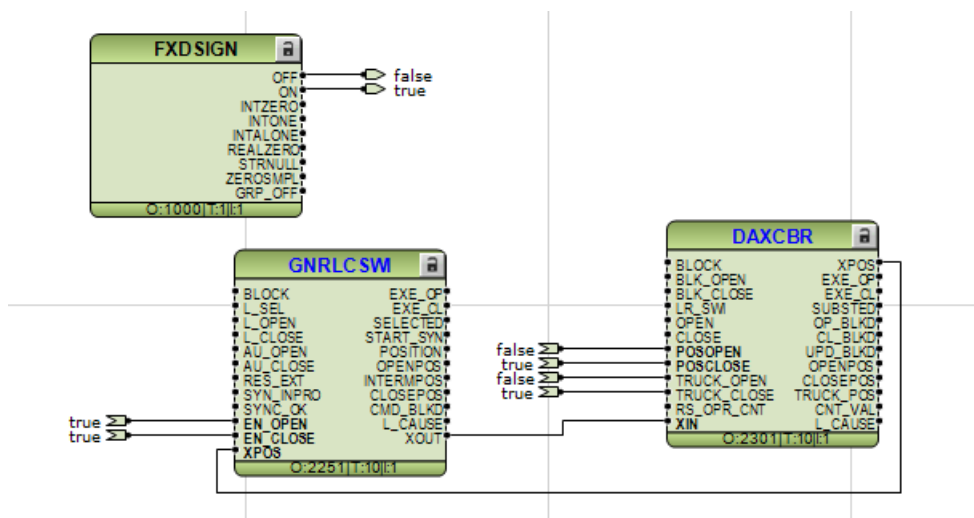


Obr. 28 Schéma systému dvou přípojníc

První použitý funkční blok je FXDSIGN, ten generuje přednastavené signály, které mohou být použity jako vstupy do dalších funkčních bloků. Výstupy "OFF" a "ON" jsou boolean signály a ty jsou reprezentovány jednou ze dvou hodnot - "true" (pravda, 1) nebo "false" (nepravda, 0).

Druhý funkční blok GNRLCSWI inicializuje a dohlíží nad všemi funkcemi aby přepínací primární přístroje správně fungovaly a byly korektně vybrány.

Poslední funkční blok DAXCBR je funkce vypínače ta poskytuje aktuální status pozic pro přístroj a také provádí kontrolní operace.



Obr. 29 Zapojení funkčních bloků konfigurace pro displej IED

6 Měření základních charakteristik ochrany REF-630

Měření základních typů funkčních křivek nadproudové závislé ochrany, proběhlo v laboratoři Vysoké školy báňské - TUO na ochraně REF-630. Schéma zapojení ochrany a ostatních zařízení je ukázáno na obr. 30. Konfigurace IED je stejná jako pro vytvořenou laboratorní úlohu.

Parametry bloku nadproudové závislé ochrany jsou následující:

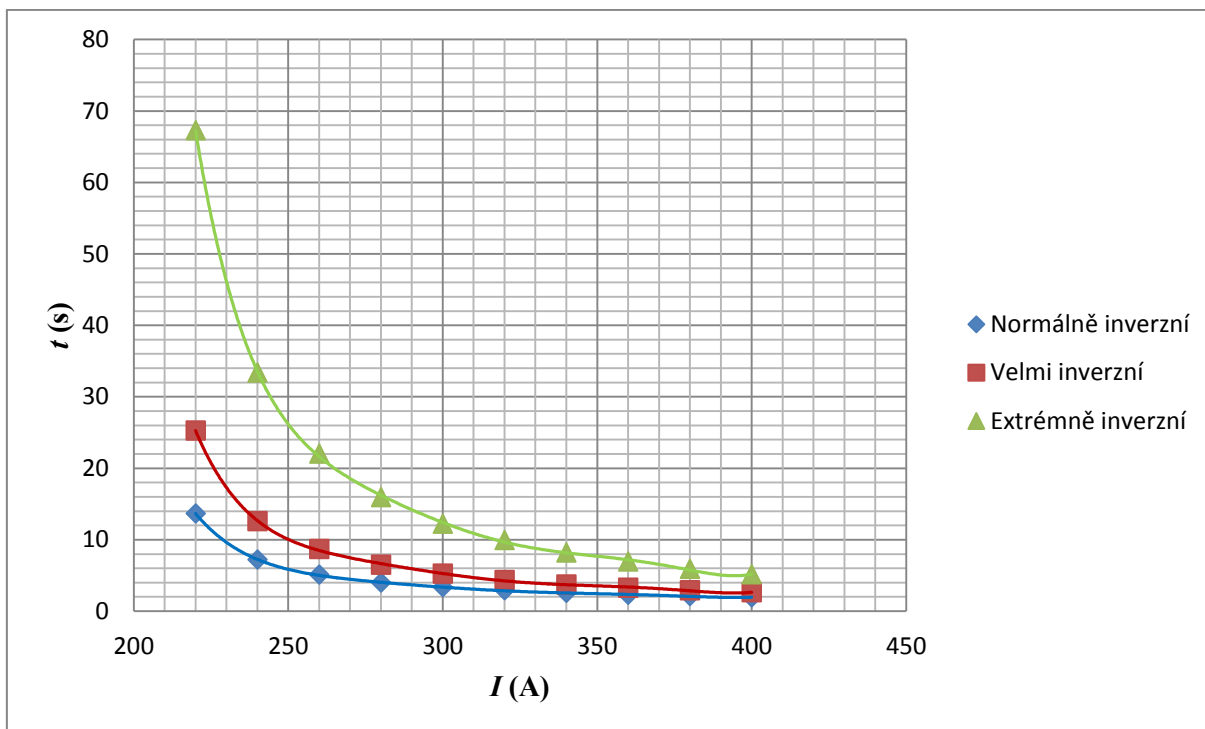
- startovací hodnota: 2 p.u.
- časový násobitel: 0,2
- funkční typ křivky: normálně inverzní, velmi inverzní, extrémně inverzní

Startovací hodnota se uvádí v jednotce p.u. (per unit - za jednotku). Ta se vztahuje k základní hodnotě, která se nastavuje ve funkčním bloku AIM_2. Podrobnější popis této jednotky a jejího nastavení se nachází v kapitole 7.1.

Naměřené hodnoty jednotlivých křivek jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Naměřené hodnoty nadproudové závislé ochrany

		Normálně inverzní	Velmi inverzní	Extrémně inverzní
I_{prim}	I_{sek}	t	t	t
(A)	(A)	(s)	(s)	(s)
220	2,2	13,66	25,58	67,29
240	2,4	7,21	12,58	33,39
260	2,6	5,10	8,70	22,03
280	2,8	3,98	6,51	15,97
300	3	3,35	5,24	12,24
320	3,2	2,90	4,35	9,96
340	3,4	2,56	3,73	8,22
360	3,6	2,30	3,27	6,94
380	3,8	2,10	2,92	5,91
400	4	1,95	2,63	5,16



Obr. 30 Grafické znázornění základních charakteristik

Z obr. 30 je patrné, že normálně inverzní křivka má nejkratší vypínací dobu, naopak nejdelší dobu vypnutí má extrémně inverzní křivka. Mezi nimi se nachází velmi inverzní křivka. Tyto jednotlivé základní křivky se budou nastavovat v nadproudové ochraně, kdy každá měřící skupina bude mít zadanou jinou křivku.

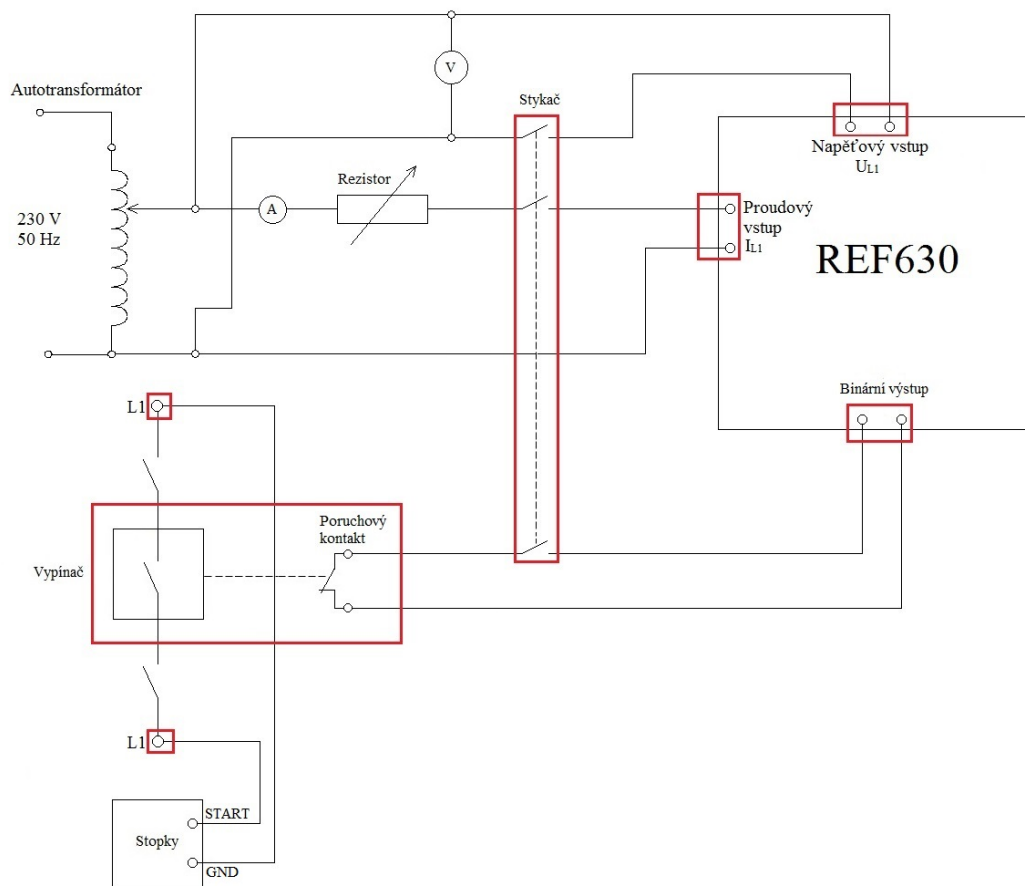
7 Vypracování návodu měření a vzorového protokolu

Návod měření, který je níže vypracován bude sloužit obsluze měřicí úlohy k jejímu správnému zapojení. Také obsahuje informace o tom, jak nastavit dané parametry ochranných funkcí a jak velké zadat hodnoty. V poslední části návodu je vysvětlen měřící postup.

7.1 Návod měření

Schéma měřicí úlohy, kterou nalezneme na obr. 31, obsahuje:

- autotransfornátor - 2/28541
- dva multimetry - Voltcraft VC 265
- rezistor 4 A / 39 Ω
- stykač
- stopky - 30502761
- ochranu REF-630
- výměnný modul



Obr. 31 Schéma zapojení měřicí úlohy

V této měřicí úloze je nutné aktivně pracovat s LHMI (Lokální rozhraní člověk-stroj), jelikož je zapotřebí odblokovat hlavní vypínač, resetovat LED diody a změnit parametry ochranných bloků, a proto byl vytvořen stručný manuál ochrany, který je součástí přílohy.

Aby bylo možné nastavit startovací hodnotu bloku ochrany je nutné znát jednotku, ve které se tato hodnota nastavuje. Startovací hodnota proudových a napěťových bloků je udávána v jednotce "za jednotku" (p.u. - per unit). Tato jednotka p.u. se vztahuje k určitým základním hodnotám (udávané v A, kV, atd.). Základní hodnoty se nedají nastavit pomocí LHMI, lze je nastavit pouze v nástroji PCM600, ve kterém vybereme funkci nastavení parametrů a v HW konfiguraci (hardwarové konfiguraci) najedeme na blok AIM_2 (obr. 32). Tam můžeme upravovat velikost základních hodnot. Pro tuto měřicí úlohu byly základní hodnoty nastaveny v poměru 1:100 od hodnot napětí a proudu generovaných autotransformatorem. Základní hodnota proudu je 100 A pro napětí je 10 kV.

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
✓ AIM_2					
✓ NAMECH1		CH1			13 characters
✓ InputType1		Current			
✓ ReversePolarity1		No			
✓ CTsec1		1,0	A	0,1	10,0
✓ CTprim1		100	A	1	99999
✓ NAMECH7		CH7			13 characters
✓ InputType7		Voltage			
✓ VTsec7		100,000	V	0,001	999,999
✓ VTprim7		10,000	kV	0,001	9999,999

Obr. 32 Výřez základních hodnot z bloku AIM_2

7.1.1 Nastavení bloku podpět'ové ochrany

- obsah všech parametrů ochranného bloku lze vidět na obr. 33
- cesta pro nastavení parametrů bloku ochrany je následující:

Main menu/Settings/Settings/Voltage protection/PHPTUV

- pro aktivování podpět'ové ochrany je nutné najet šipkami na řádek "Operation", stisknout tlačítko enter a vybrat možnost ON, pak je funkční blok aktivován, ostatní ochranné bloky je nutné vypnout
- startovací hodnota podpětí se nastavuje v řádku "Start value", rozsah startovací hodnoty je 0,05 - 1,20 p.u.
- rozsah zpoždění ("Operate delay time") je: 0,040 - 300 s
- vzhledem k rozsáhlosti měřené úlohy je vhodné nastavit zpoždění maximálně na hodnotu 20 s

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
✓ 27: PHPTUV: 1					
✓ Operation		On			
✓ Base value Sel phase		Phase Grp 1			
✓ Voltage selection		phase-to-earth			
✓ Phase supervision		A or AB			
✓ Num of start phases		1 out of 3			
✓ Voltage block value		0,10	pu	0,05	1,00
✓ Relative hysteresis		4,0	%	1,0	5,0
✓ Curve Sat Relative		2,0	%	0,0	10,0
✓ Curve parameter A		1,000		0,005	200,000
✓ Curve parameter B		1,00		0,50	100,00
✓ Curve parameter C		0,0		0,0	1,0
✓ Curve parameter D		0,000		0,000	60,000
✓ Curve parameter E		1,000		0,000	3,000
✓ Reset delay time		0,020	s	0,000	60,000
✓ Minimum operate time		0,040	s	0,040	60,000
✓ Enable block value		Yes			
✓ Setting Group1		✓			
✓ Start value		0,90	pu	0,05	1,20
✓ Time multiplier		1,00		0,05	15,00
✓ Operating curve type		IEC Def. Time			
✓ Type of reset curve		Immediate			
✓ Type of time reset		Freeze Op timer			
✓ Operate delay time		2,000	s	0,040	300,000

Obr. 33 Parametry podpětové ochrany


7.1.2 Nastavení bloku přepětové ochrany

- parametry ochranného bloku přepětové ochrany jsou uvedeny na obr. 34
- nastavení parametrů ochranného bloku nalezneme v menu IED jako u podpětového bloku:

Main menu/Settings/Settings/Voltage protection/PHPTOV

- pro aktivování přepětové ochrany je nutné najet šipkami na řádek "Operation", stisknout tlačítko "enter" a vybrat možnost "ON", pak je funkční blok aktivován, ostatní ochranné bloky je nutné vypnout
- zpoždění ("Operate delay time") má rozsah: 0,040 - 300 s
- zde také není dobré překračovat limit 20 s a jelikož se v úloze měří čtyři typy ochran, je nutné manuální nastavení jednotlivých bloků
- startovací hodnota ("Start Value") je v rozsahu: 0,05 - 1,60 p.u.

U obou napětových ochranných bloků se ponechává typ provozní křivky ("Operating curve type") na "IEC Def. Time" a časový násobitel ("Time multiplier") se nemění, zůstává nastaven na hodnotě 1.

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
✓ PHPTOV: 1					
✓ Operation		Off			
✓ Base value Sel phase		Phase Grp 1			
✓ Voltage selection		phase-to-phase			
✓ Num of start phases		1 out of 3			
✓ Relative hysteresis		4,0	%	1,0	5,0
✓ Curve Sat Relative		2,0	%	0,0	10,0
✓ Curve parameter A		1,000		0,005	200,000
✓ Curve parameter B		1,00		0,50	100,00
✓ Curve parameter C		0,0		0,0	1,0
✓ Curve parameter D		0,000		0,000	60,000
✓ Curve parameter E		1,000		0,000	3,000
✓ Reset delay time		0,020	s	0,000	60,000
✓ Minimum operate time		0,040	s	0,040	60,000
✓ Setting Group1					
✓ Start value		1,10	pu	0,05	1,60
✓ Time multiplier		1,00		0,05	15,00
✓ Operating curve type		IEC Def. Time			
✓ Type of reset curve		Immediate			
✓ Type of time reset		Freeze Op timer			
✓ Operate delay time		2,000	s	0,040	300,000


Obr. 34 Parametry bloku přepětové ochrany

7.1.3 Nastavení bloku proudově nezávislé ochrany

- seznam parametrů bloku proudově nezávislé ochrany je k nahlédnutí na obr. 35
- změnu parametrů bloku lze pomocí LHMI:

Main menu/Settings/Settings/Current protection/PHIPTOC

- pro aktivování proudově nezávislé ochrany je nutné najet šipkami na řádek "Operation", stisknout tlačítko enter a vybrat možnost ON, pak je funkční blok aktivován, ostatní ochranné bloky je nutné vypnout
- zpoždění ("Operate delay time") má rozsah: 0,02 - 200 s
- kvůli použitému rezistoru, kterým může protékat maximálně 4 A, není vhodné volit zpoždění větší než 10 - 15 s, použitý rezistor by se nadměrně přehříval a mohlo by dojít k jeho poškození, zpoždění se dá prodloužit pomocí paralelního zapojení odporů
- rozsah startovací hodnoty ("Start value"): 0,10 - 40 p.u., hodnotu je vhodné nastavit od 1 - 2
- při startovací hodnotě 1 bude protékat rezistorem proud 1 A, a pokud se ochrana bude proměřovat pro deset hodnot po kroku 0,2 A bude maximální proud protékající rezistorem 3 A, tím se dosáhne menšího oteplení rezistoru
- nižší startovací hodnotu než 1 není vhodné nastavovat, jelikož regulace proudu pod 1 A je na autotransformátoru velmi citlivá a docházelo by k nepřesnému nastavení hodnoty proudu

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
✓ PHIPTOC: 1					
✓ Operation		Off			
✓ Base value Sel phase		Phase Grp 1			
✓ Num of start phases		1 out of 3			
✓ Reset delay time		0,020	s	0,000	60,000
✓ Setting Group1					
✓ Start value		2,00	pu	0,10	40,00
✓ Start value Mult		1,0		0,8	10,0
✓ Operate delay time		20,00	s	0,02	200,00

Obr. 35 Parametry bloku nadproudové ochrany PHIPTOC


7.1.4 Nastavení bloku proudově závislé ochrany

- parametry ochranného bloku lze vidět na obr. 36
- cesta pro aktivování a nastavení parametrů v LHMI je:

Main menu/Settings/Settings/Current protection/PHIPTOC

- pro aktivování proudově závislé ochrany je nutné najet šipkami na řádek "Operation", stisknout tlačítko enter a vybrat možnost ON, pak je funkční blok aktivován, ostatní ochranné bloky je nutné vypnout
- zpoždění ("Operate delay time") má rozsah: 0,02 - 200 s
- tento ochranný blok lze nastavit jako proudově nezávislou ochranu, ale pro toto měření je blok vždy nastaven jako proudově závislá ochrana, tudíž není potřeba nastavovat zpoždění, jelikož nic neovlivňuje
- vypínací čas závisí na hodnotě časového násobitele a na typu funkční křivky (normálně, inverzní, velmi inverzní, extrémně inverzní)
- časový násobitel ("Time multiplier") lze nastavit od hodnoty 0,05 až 15, není vhodné nastavovat hodnotu větší než 0,4 z důvodu vysokého času vypnutí při různých typech funkční křivky. V úloze se autotransfornátorem nastavuje hodnota proudu až na 4 A, což je maximální hodnota proudu, která může rezistorem protékat, tudíž kdyby se nastavil časový násobitel na vyšší hodnotu, vypínací čas by byl příliš velký a rezistor by se nadměrně přehříval a mohlo by dojít k jeho poškození
- typy funkčních křivek jsou následující: normálně inverzní ("normal inverse"), velmi inverzní ("very inverse"), extrémně inverzní ("extreme inverse")
- startovací hodnota má rozsah: 0,10 - 40 p.u., pro měřicí úlohu je vhodné nastavit hodnotu v rozsahu od 1 do 2
- při startovací hodnotě 1 bude protékat rezistorem proud 1 A, a pokud se křivka bude proměřovat pro deset hodnot po kroku 0,2 A bude maximální proud protékající rezistorem 3 A, tím se dosáhne menšího oteplení rezistoru

- nižší startovací hodnotu než 1 není vhodné nastavovat, jelikož regulace proudu pod 1 A je na autotransfórmátoru velmi citlivá a docházelo by k nepřesnému nastavení hodnoty proudu

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
✓ PHHPTOC: 1					
✓ Operation		Off			
✓ Base value Sel phase		Phase Grp 1			
✓ Measurement mode		DFT			
✓ Num of start phases		1 out of 3			
✓ Curve parameter A		28,2000		0,0086	120,0000
✓ Curve parameter B		0,1217		0,0000	0,7120
✓ Curve parameter C		2,00		0,02	2,00
✓ Curve parameter D		29,10		0,46	30,00
✓ Curve parameter E		1,0		0,0	1,0
✓ Reset delay time		0,020	s	0,000	60,000
✓ Minimum operate time		0,020	s	0,020	60,000
✓ Setting Group1					
✓ Start value		2,00	pu	0,10	40,00
✓ Start value Mult		1,0		0,8	10,0
✓ Time multiplier		0,20		0,05	15,00
✓ Operating curve type		IEC Norm. inv.			
✓ Type of reset curve		Immediate			
✓ Operate delay time		3,00	s	0,02	200,00

Obr. 36 Parametry bloku nadproudové ochrany PHHPTOC

7.1.5 Výpočet proudově závislé charakteristiky podle IEC 60255-151

Časově závislá charakteristika je definována pouze pro nadproudové relé.

Pro výpočet časově závislých charakteristických křivek lze použít vzorec 1 (kapitola 2.5):

$$t = \frac{TMS \cdot k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1}$$

kde t teoretický operační čas v sekundách

k, c, α konstanty charakterizující vybranou křivku

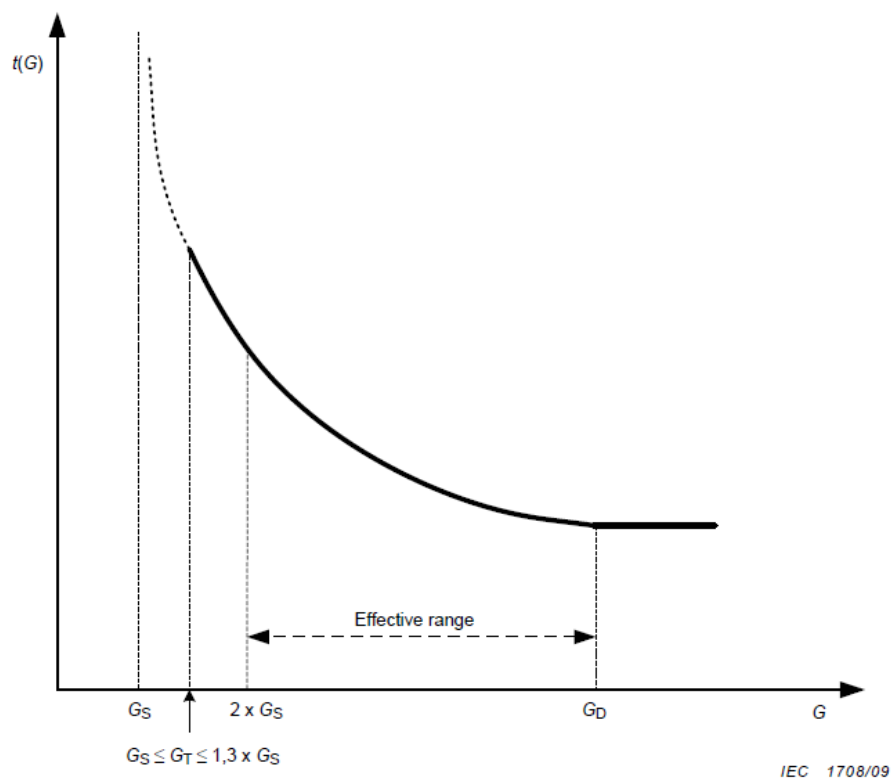
I naměřená hodnota proudu

I_s startovací hodnota stupně I_s

TMS časový násobitel

Konstanty k a c mají jednotku v sekundách, zato α jednotku nemá.

Nadproudovou charakteristiku stupně $I >$ je možné měnit. Proudově závislé charakteristiky mají charakteristický průběh, při nižším nadproudu má článek delší zpoždění než při nadproudu hodně převyšujícím startovací hodnotu článku.



Obr. 37 Proudově závislá charakteristika [7]

Tab. 6 Konstanty pro časově závislé charakteristiky

	A	B	C
k	0,14	13,5	80,0
α	0,02	1	2
c	0	0	0

Normální rozsah proudu je definován 2 až 20-ti násobkem nastavené hodnoty. Prahová hodnota G_T je nejnižší hodnota proudu, při které musí ochrana nastartovat. G_T leží mezi G_S a $1,3 \times G_S$, pro lepší pochopení je tato prahová hodnota naznačena v obr. 37. Je-li charakteristika dlouhodobá inverzní, je podle normy normální rozsah 2 až 7 násobek nastavené hodnoty a ochrana musí nastartovat při proudu vyšším než 1,1 nastavené hodnoty.

7.1.6 Měření úlohy

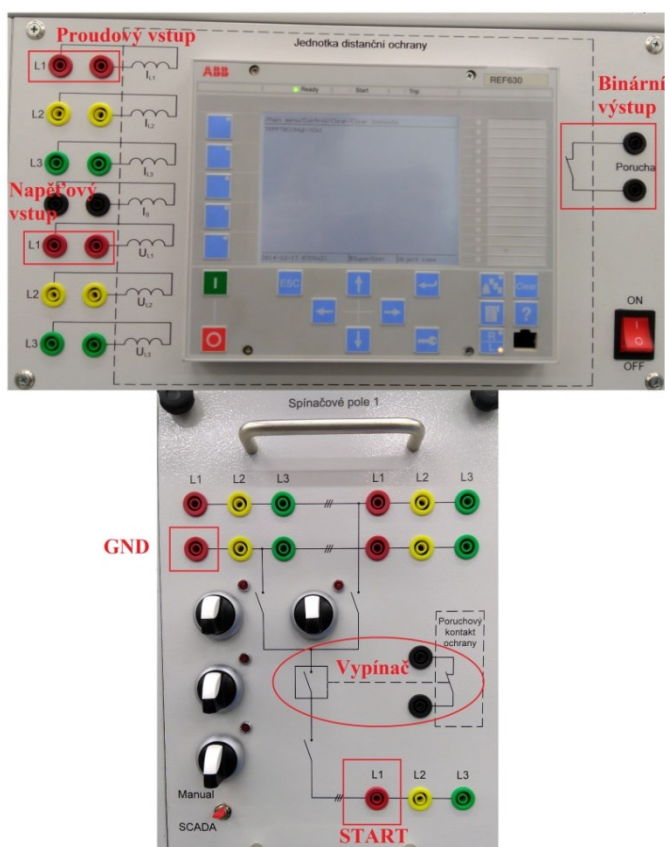
Zadání

- 1) Nastudujte princip a funkci ochrany REF630.
- 2) Seznamte se se zapojením měřeného obvodu pro blokování vypínače a následně jej zapojte.
- 3) Změřte nadproudovou ochranu nezávislou na čase ("def. time") a proudově závislou ochranu ("normal"/"very"/"extreme inverse" - volba podle skupiny)
- 4) Proměřte přepět'ovou a podpět'ovou ochranu.
- 5) Ověřte proudově závislou vypínací charakteristiku pomocí výpočtu, výsledek porovnejte v grafu.
- 6) Vyhodnoťte výsledky měření.

Kontrolní otázky

- 1) Co je "Operate delay time" a jak ho lze v ochraně REF630 nastavit?
- 2) Co je časový násobitel ("time multiplier") a jak ovlivňuje tvar nadproudové křivky?
- 3) Z jakého přístroje přivádíme v praxi proud a napětí na vstup ochrany REF630?

Měřicí úlohu je nutné nejdříve zapojit, k tomuto úkonu slouží schéma zapojení v podobě obr. 31 a obr. 38.



Obr. 38 Pomocný obrázek schéma zapojení

Po zapojení úlohy je nutné v IED aktivovat jeden z ochranných bloků, nastavit jeho parametry a vypnout ostatní bloky ochrany. Je dobré začít nejprve s proměřením nadproudových ochrany z důvodů oteplování rezistoru. Následně proměřit napěťové ochrany.

Postup jak ovládat ochranu a nastavovat parametry ochranných funkcí je uveden ve stručném manuálu ochrany, který je k nahlédnutí v příloze.

Postup měření:

- nastavení hodnoty napětí nebo proudu (záleží jaká ochranná funkce se měří) pomocí autotransformátoru a ověříme hodnotu multimetrem
- pak se sepne obvod zeleným tlačítkem stykače, které se nachází pod pěti páry vyvedených kontaktů
- v okamžiku kdy ochrana vypne hlavní vypínač a začne ho blokovat, odečte se čas vypnutí ze stopek
- následující krok je nastavení další hodnoty proudu nebo napětí, také je nutné přerušit obvod, aby startovací hodnota nebyla připojena do ochrany (jinak by nešlo odblokovat hlavní vypínač), to lze zajistit stlačením červeného tlačítka stykače, čímž dojde k rozpojení obvodu
- hlavní vypínač výměnného modulu je nutné odblokovat a LED diody na ochraně, které indikují start a působení ochrany je zapotřebí resetovat, toho lze docílit v rozhraní ochrany (LHMI), zmáčkne tlačítko "Clear" a postupujeme "**Clear/Clear lock outs**" a "**Clear/Clear LED's/All indications LED'S**"
- po odblokování se vynulují stopky a obvod se může opět sepnout pomocí stykače
- jakmile se proměří jedena z ochranných funkcí, musí se v LHMI aktivovat další ochranný blok a zbytek se vypne, tento proces se opakuje dokud se neproměří všechny ochranné funkce, které jsou naprogramovány

7.2 Vzorový protokol

7.2.1 Zadání

- 1) Nastudujte princip a funkci ochrany REF630.
- 2) Seznamte se se zapojením měřeného obvodu pro blokování vypínače a následně jej zapojte.
- 3) Změřte nadproudovou ochranu nezávislou na čase ("def. time") a proudově závislou ochranu ("normal"/"very"/"extreme inverse" - volba podle skupiny)
- 4) Proměřte přepět'ovou a podpět'ovou ochranu.
- 5) Ověřte proudově závislou vypínací charakteristiku pomocí výpočtu, výsledek porovnejte v grafu.
- 6) Vyhodnoťte výsledky měření.

7.2.2 Teoretický úvod

IED REF630 je komplexní IED zařízení vývodu, které je určeno pro chránění, ovládání a monitorování vývodů distribučních rozvodů energetických společností i průmyslových podniků. IED REF630 je dále vybaveno potřebnými ovládacími funkcemi, které vytvářejí základ ideálního řešení pro řízení pole vývodu.

IED REF630 zajišťuje hlavní chránění venkovních vedení a kabelových vývodů v distribučních sítích. IED je aplikačně vhodné pro síť s izolovaným nulovým bodem i pro odporově, nebo impedančně uzemněné síť.

IED nabízí selektivní zkratové a nadproudové chránění včetně třífázové nesměrové nadproudové ochrany se čtyřmi nezávislými stupni a třífázové směrové nadproudové ochrany se třemi nezávislými stupni. IED je kromě toho vybaveno třífázovou funkcí detekce zapínacího proudu, která je určena pro blokování zvolených hodnot těchto stupňů. Vestavěná ochranná funkce proti tepelnému přetížení používá tepelné modely vhodné pro venkovní vedení a kabely.

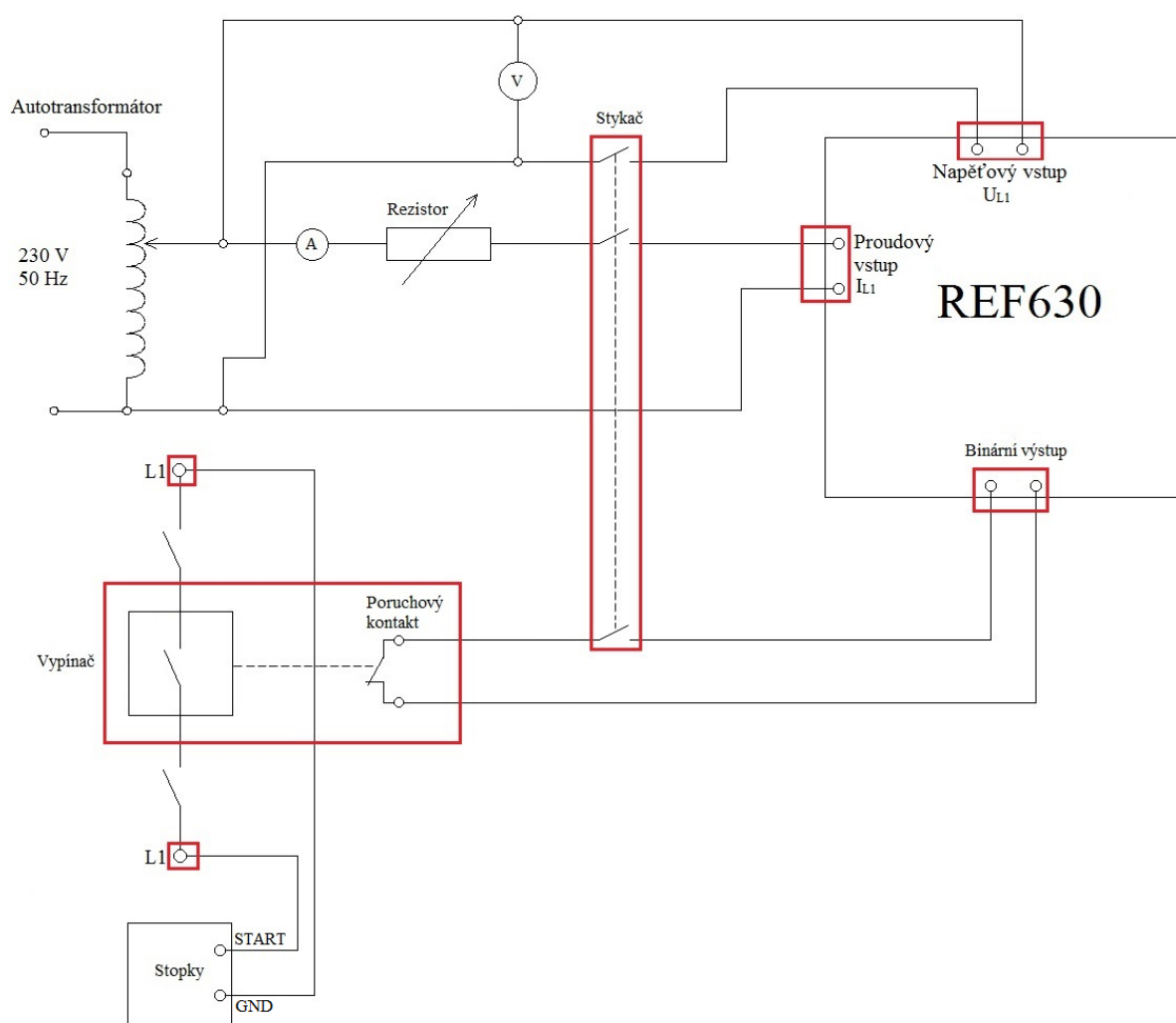
Pro účely tohoto měření využíváme jen nadproudovou ochranu závislou a nezávislou na čase. Dále nadpět'ovou ochranu a podpět'ovou ochranu.

IED je vybaveno funkcemi pro místní i dálkové ovládání a současně nabízí značný počet volně konfigurovatelných binárních vstupů / výstupů a logických obvodů, které umožňují vytvářet funkce ovládání pole rozvodny i funkce blokovacích podmínek pro vypínače a pohony ovládané spínače - odpojovače. IED podporuje pole rozvodny jak s jednoduchou tak i s dvojitou přípojnici. Počet ovládatelných primárních prvků je závislý na počtu dostupných vstupů a výstupů v navolené konfiguraci.

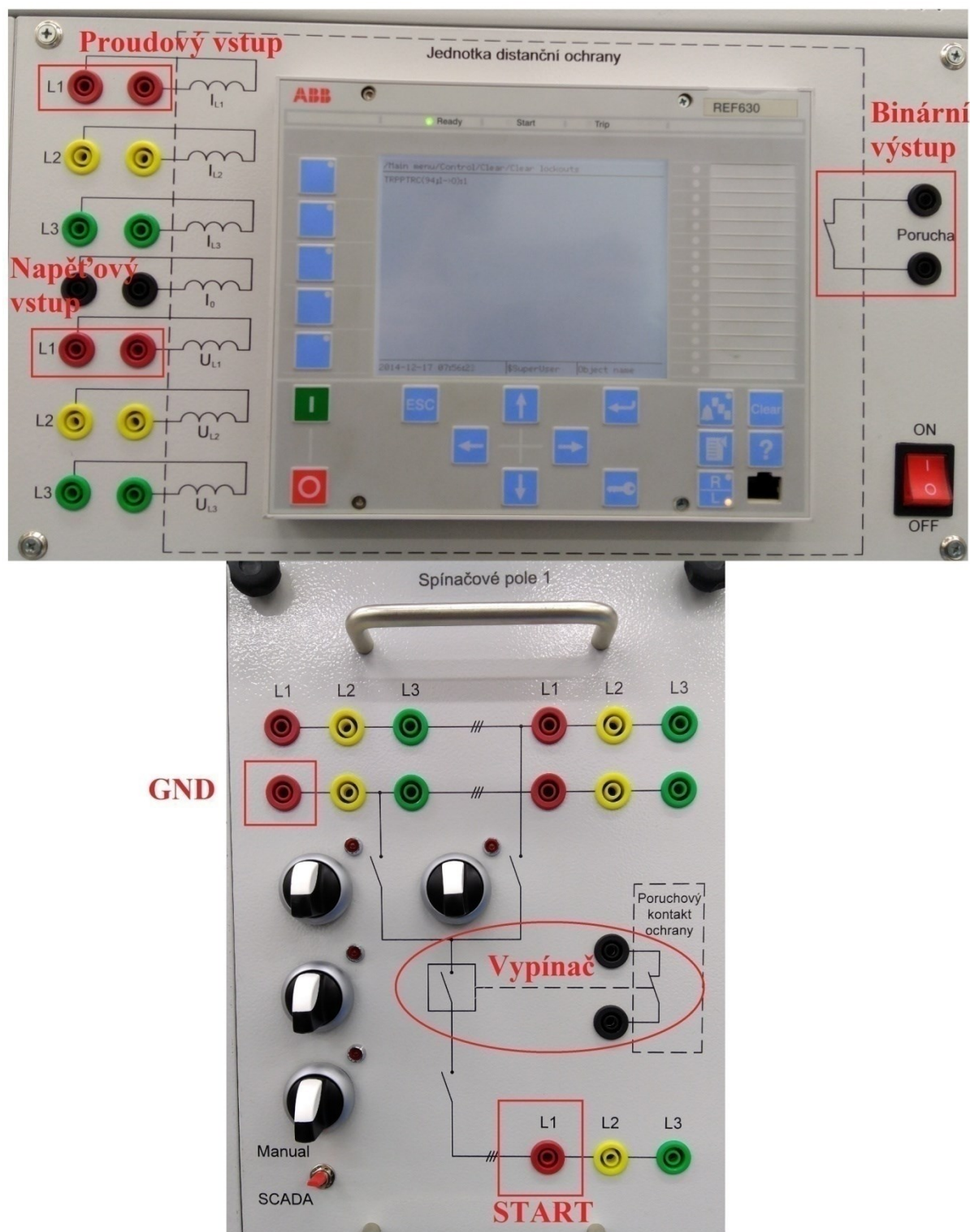
IED REF630 je vybaveno funkcí měřící impedanci, která je navržena pro určení místa poruchy a je vhodná pro zaměření zkratů v radiálních distribučních systémech. Funkce určení místa poruchy (lokátor poruchy) identifikuje typ poruchy a poté vypočte vzdálenost do bodu, kde došlo k poruše. Současně se vzdáleností se vypočte přibližná hodnota odporu poruchy. Tato hodnota poskytuje informaci o možné příčině poruchy a také určuje přesnost údaje o předpokládané vzdálenosti do bodu, kde došlo k poruše.

IED trvale měří fázové proudy, souslednou a zpětnou složku proudů a nulový proud (nulovou složku proudu). IED současně měří i fázová, nebo sdružená napětí, souslednou i zpětnou složku napětí a nulové napětí (nulovou složku napětí). Dále monitoruje činný, jalový a zdánlivý výkon, účinník, hodnotu odběru (spotřeby) energie za zvolený časový interval, stejně jako narůstající celkovou spotřebu činné a jalové energie v obou směrech. IED měří i hodnoty frekvence a teploty vedení i hodnotu fázové nesymetrie na bázi poměru mezi zpětnou složkou proudu a souslednou složkou proudu.

7.2.3 Schéma



Obr. 39 Schéma zapojení laboratorní úlohy



Obr. 40 Měřicí panel laboratorní úlohy

7.2.4 Postup měření

Pro měření úlohy je zapotřebí nastavit funkčnost ochranných bloků, to lze zajistit v **Main menu/Settings/Settings/Current protection** nebo **Voltage protection**, kde vybráním "on" nebo "off", zapínám nebo vypínám ochranné bloky.

Nadproudová ochrana nezávislá na čase ("Def. time"): Ověření času vypnutí

- Nastavení funkčnosti bloků: zapnout blok **PHIPTOC** a ostatní vypnout
- Nastavení parametrů bloků: "**Start value**" na **1 - 2 p.u.**, "**Operate delay time**" na **0,5 - 20 s**
- Okamžité hodnoty proudů a napětí najdeme v: **Maine menu/Controle**
- Měření: nastavíme požadovanou hodnotu proudu, sepneme stykač, po vybavení ochrany odečteme čas ze stopek
- Odblokování: zmáčkne tlačítko "Clear" a postupujeme **Clear/Clear lock outs a Clear/Clear LED's/All indications LED'S**

Proudově závislá ochrana

- Nastavení funkčnosti bloků: zapnout blok **PHHPTOC** a ostatní vypnout
- Nastavení parametrů bloků: "**Start value**" na **1 - 2 p.u.**, "**Time multiplier**" na **0,1 - 0,4** a typ křivky "**Normal Inverse**", "**Very Inverse**", "**Extreme Inverse**"
- Okamžité hodnoty proudů a napětí najdeme v: **Maine menu/Controle**
- Měření: nastavíme požadovanou hodnotu proudu, sepneme stykač, po vybavení ochrany odečteme čas ze stopek
- Odblokování: zmáčkne tlačítko "Clear" a postupujeme **Clear/Clear lock outs a Clear/Clear LED's/All indications LED'S**

Přepět'ová ochrana: Ověření času vypnutí

- Nastavení funkčnosti bloků: zapnout blok **PHPTOV** a ostatní vypnout
- Nastavení parametrů bloků: "**Start value**" na **1,1 - 1,5 p.u.**, "**Operate delay time**" na **0,5 - 20 s**
- Okamžité hodnoty proudů a napětí najdeme v: **Maine menu/Controle**
- Měření: nastavíme požadovanou hodnotu napětí, sepneme stykač, po vybavení ochrany odečteme čas ze stopek
- Odblokování: zmáčkne tlačítko "Clear" a postupujeme **Clear/Clear lock outs a Clear/Clear LED's/All indications LED'S**

Podpět'ová ochrana: Ověření času vypnutí

- Nastavení funkčnosti bloků: zapnout blok **PHPTUV** a ostatní vypnout
- Nastavení parametrů bloků: "**Start value**" na **0.9 - 0,5 p.u.**, "**Operate delay time**" na **0,5 - 20 s**
- Okamžité hodnoty proudů a napětí najdeme v: **Maine menu/Controle**
- Měření: nastavíme požadovanou hodnotu napětí, sepneme stykač, po vybavení ochrany odečteme čas ze stopek
- Odblokování: zmáčkne tlačítko "Clear" a postupujeme **Clear/Clear lock outs a Clear/Clear LED's/All indications LED'S**

7.2.5 Tabulky

V tabulkách jsou uvedeny primární a sekundární hodnoty měřených veličin, je to z důvodu měřících transformátorů, jejichž primární svorky jsou připojeny na přípojnice a sekundární svorky jsou připojeny na analogové vstupy ochrany REF630.

Tab. 7 Ověření času vypnutí nadproudové nezávislé ochrany

I_{prim}	I_{sek}	t
(A)	(A)	(s)
210	2,1	0,98
250	2,5	0,98
300	3	0,98
350	3,5	0,97
400	4	0,97

Zpoždění: 1 s Startovací hodnota: 2 p.u.

Tab. 8 Hodnoty nadproudové závislé ochrany

I_{prim}	I_{sek}	t_{zm}
(A)	(A)	(s)
220	2,2	33,93
240	2,4	18,98
260	2,6	12,38
280	2,8	9,75
300	3	7,67
320	3,2	6,58
340	3,4	5,62
360	3,6	4,89
380	3,8	4,38
400	4	3,91

Funkční křivka: velmi inverzní

Startovací hodnota: 2 p.u.

Tab. 9 Ověření času vypnutí přepětové ochrany

U_{prim}	U_{sek}	t
(V)	(V)	(s)
12000	120	1,46
14000	140	1,46
16000	160	1,47
18000	180	1,46
20000	200	1,47

Startovací hodnota: 1,1 p.u. Zpoždění: 1,5 s

Tab. 10 Ověření času vypnutí podpětové ochrany

U_{prim}	U_{sek}	t
(V)	(V)	(s)
8000	80	1,95
7000	70	1,96
6000	60	1,94
5000	50	1,96
4000	40	1,95

Startovací hodnota: 0,9 p.u. Zpoždění: 2 s

7.2.6 Výpočet proudově závislé charakteristiky

$$t = \frac{TMS \cdot k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1}$$

Tab. 11 Konstanty základních funkčních křivek

Stupeň inverse	α	k
Normální	0,02	0,14
Velká	1,0	13,5
Extrémní	2,0	80,0

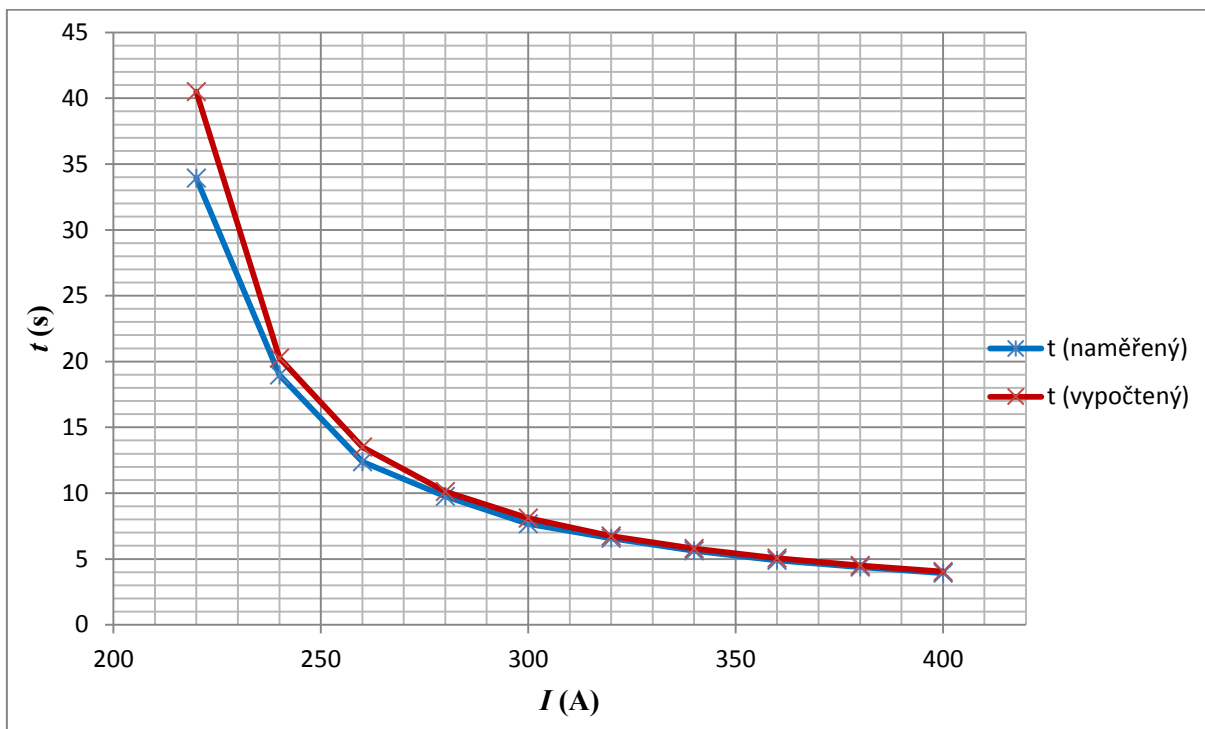
Příklad výpočtu

$$t = \frac{TMS \cdot k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} = \frac{0,3 \cdot 13,5}{\left(\frac{3,2}{2}\right)^1 - 1} = 6,75s$$

Tab. 12 Vypočtené hodnoty proudově závislé charakteristiky

I_{prim}	I_{sek}	t_{zm}	t_{sp}
(A)	(A)	(s)	(s)
220	2,2	33,93	40,5
240	2,4	18,98	20,25
260	2,6	12,38	13,50
280	2,8	9,75	10,13
300	3	7,67	8,10
320	3,2	6,58	6,75
340	3,4	5,62	5,79
360	3,6	4,89	5,06
380	3,8	4,38	4,50
400	4	3,91	4,05

7.2.7 Grafické vyhodnocení



Obr. 41 Grafické porovnání proudově závislé charakteristiky

7.2.8 Seznam použitých přístrojů

- ochrana REF-630
- autotransformátor 5/28541
- rezistor 4 A/ 39 Ω
- stykač
- multimetr - Voltcraft VC 265
- stopky 30502761

7.2.9 Kontrolní otázky

- 1) Co je "Operate delay time" a jak ho lze v ochraně REF630 nastavit?

Jedná se o zpoždění ochrany a lze jej nastavit pomocí LHMI v parametrech bloku ochrany.

- 2) Co je časový násobitel ("time multiplier") a jak ovlivňuje tvar nadproudové křivky?

Časový násobitel je bezrozměrné číslo, které se nastavuje v parametrech bloku ochrany a složí ke stupňování funkční křivky (čím větší časový násobitel, tím je delší čas vypnutí)

- 3) Z jakého přístroje přivádíme v praxi proud a napětí na vstup ochrany REF630?

Relion ochrany využívají měřících transformátorů proudu a napětí.

7.2.10 Závěr

Cílem této úlohy bylo seznámit a naučit se ovládat ochranu REF-630 a proměřit její ochranné funkce. Aby se toho dalo docílit, bylo nutné nastudovat poskytnutý manuál. V měření se ověřovaly vypínací časy podpětňové a přepětňové ochrany, které odpovídaly nastavené hodnotě. U nadproudové nezávislé ochrany naměřené časy vypnutí také vyhověly nastavené hodnotě zpoždění. Posledním ochranou, která se kontrolovala, byla nadproudová závislá ochrana, zde se ověřoval čas vypnutí ochrany REF-630 s výpočtem vypínacího času podle normy IEC 60255-251. Z grafického srovnání (obr. 41) jsou patrné menší odchylky, ty jsou zapříčiněny menší nepřesností u regulace proudu pomocí autotransformátoru.

8 Závěr

Tato diplomová práce se zabývá tvorbou měřicí úlohy v laboratoři VŠB-TUO do předmětu Elektrárny. Pro návrh úlohy jsem využil ochrany Relion REF-630 od firmy ABB a výměnného modulu (spínačové pole). Měřicí úloha má simulovat ovládání vypínače dvojitého systému přípojníc pomocí ochrany REF-630 při různých poruchových stavech jako jsou přepětí, podpětí a zkrat. Studenti předmětu tak budou mít příležitost měřit úlohu, ve které se nachází chránící prvek hojně používaný v praxi a naučí se nastavovat důležité parametry ochrany.

Ke správné funkčnosti úlohy se musela ochrana REF-630 naprogramovat podle ochranných funkcí, které má ochrana vykonávat. Pro naprogramování ochrany jsem absolvoval školení na program PCM600 ve firmě ABB. Úspěšně naprogramovanou konfiguraci jsem importoval do IED a následně testoval funkčnost nahrané konfigurace.

Při proměřování úlohy jsem zjistil, že při jistém nastavení parametrů bloku ochran a větší délce vypínacího času dochází k nadměrnému přehřívání rezistoru, který je zapojen v obvodu měřicí úlohy. Tyto poznatky ovlivnily nastavování parametrů ochranných bloků, bylo nutné zkrátit nastavená zpoždění napětových ochran a nadproudové nezávislé ochrany. U nadproudové závislé ochrany jsem snížil hodnotu časového násobitele a tím snížil čas vypnutí. Jinou variantou, pomocí které by se dalo snížit přehřívání rezistoru je zmenšení startovací hodnoty proudu, pak bude rezistorem procházet menší proud, který nevyvolá přehřívání. Tento problém s přehříváním by se dal také vyřešit paralelním spojením dvou rezistorů, tím by se nastavený proud, který generuje autotransformátor, rozdělil mezi dva rezistory.

Na konci zimního semestru proběhla měření se studenty třetího ročníku, kde jsem asistoval studentům při měření úlohy a mohl jsem tak zjistit, jestli vypracovaný návod měření, manuál k ochraně a schéma zapojení jsou dostatečně srozumitelné pro úspěšné změření úlohy. Nutno podotknout, že úloha se měřila dvakrát, jelikož byly dvě skupiny studentů, díky tomu jsem měl lepší přehled o tom jaký rozsah hodnoty zpoždění a časového násobitele uvést do návodu měření.

Cíl práce byl splněn, ale je tu prostor pro zlepšení měřicí úlohy. Například vytvořit kontakty pro stopky a propojit je s binárním výstupem ochrany REF-630 a upravit konfiguraci tak, aby stopky byly ovládány ochranou REF-630. Dále by se mohlo propojit spínačové pole s ochranou, díky tomu by se daly ovládat odpojovače a vypínač pomocí rozhraní ochrany.

Je tu i možnost vytvoření nových úloh, jelikož v laboratorním stole je ještě jedna zabudovaná ochrana REF-630, mohla by se pro ni vytvořit úloha, která by se soustředila na rozdílovou ochranu. Ta je základní ochranou transformátoru a v laboratoři se nacházejí tyto transformátory dva a jeden z nich by se dal použít. Díky výměnným modulům a ochranám REF-630 a REF-630 se dají v laboratoři vymyslet různé varianty měřicích úloh, které by se mohly realizovat.

Seznam použité literatury

- [1] DOHNÁLEK, Petr. Ochrany pro průmysl a energetiku: určeno [také] pro posl. pomaturitního inovačního studia oboru zařízení silnoproudé elektrotechn. a studia postgraduálního. Praha: SNTL, 1978. Řada elektrotechnické literatury.
- [2] HALUZÍK, Evžen, Libor WEIDINGER a Martin KRÁTKÝ. Ochrany a jištění energetických zařízení. VUT-Brno.
- [3] Medvec, Z.: Ochrany a automatiky v rozvodu. Učební texty pro magisterské kombinované studium. Vysoká škola báňská - TUO
- [4] JANÍČEK, František. Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2004. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-2135-2.
- [5] ABB s.r.o.: IED pro chránění a ovládání vývodu REF 630. Popis a technická data výrobku. 2012. ID: 1MRS757075 CZ C
- [6] ABB s.r.o.: Technical Manual 630 series. ABB s.r.o. 2012. ID: 1MRS756508
- [7] IEC 60255-151. Measuring relays and protection equipment – Part 151: Functional requirements for over/under current protection

Seznam příloh

Název	Počet stran
I. Schéma konfigurace v nástroji PCM600	1
II. Stručný manuál k ochraně REF-630	7
III. Parametry bloků	6